

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Факультет електроенерготехніки та автоматики

Кафедра автоматизації енергосистем

«На правах рукопису»
УДК 621.311

До захисту допущено:
Завідувач кафедри
_____ Анатолій МАРЧЕНКО
«10» грудня 2020 р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

**за освітньо-професійною програмою «Управління, захист та
автоматизація енергосистем»**

**зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка»**

**на тему: «Система збору інформації електричної підстанції 35/10 кВ на
основі технології Node-RED»**

Виконав:

студент VI курсу, групи ЕК-91мп
Губчук Андрій Євгенійович _____

Науковий керівник:

доцент, к.т.н., Марченко Анатолій Андрійович _____

Консультант з стартап-проекту:

ст. викл., Бахмачук Сергій Васильович _____

Консультант з охорони праці:

професор, д.т.н., Третьякова Лариса Дмитрівна _____

Рецензент:

Засвідчую, що у цій магістерській
дисертації немає запозичень з праць
інших авторів без відповідних
посилань.

Студент _____

Київ – 2020 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Факультет електроенерготехніки та автоматики
Кафедра автоматизації енергосистем

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність – 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Освітньо-професійна програма «Управління, захист та автоматизація енергосистем»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Анатолій МАРЧЕНКО

«09» листопада 2020 р.

ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту
Губчуку Андрію Євгенійовичу

1. Тема дисертації «Система збору інформації електричної підстанції 35/10 кВ на основі технології Node-RED», науковий керівник дисертації Марченко Анатолій Андрійович, доц., к.т.н., затверджені наказом по університету від «09» листопада 2020 р. №3260-с
2. Термін подання студентом дисертації «10» грудня 2020 р
3. Об'єкт дослідження: підстанція «Артемівська» 35/10 кВ
4. Вихідні дані: програмна документація по Node-RED, .NET-Framework та мові програмування C#; вихідні дані підстанції «Артемівська» 35/10 кВ; довідникова інформація по силовому електро-обладнанню, довідникова інформація по пристроях релейного захисту, документація по протоколу передачі даних Modbus
5. Перелік завдань, які потрібно розробити: 1. Розрахувати ступінь к.з. на підстанції «Артемівська», визначити склад релейного захисту. 2. Спроекувати структуру системи збору та передачі інформації. 3. Підключитися до пристрою релейного захисту ABB-REF615 з допомогою Node-RED. 4. Спроекувати та реалізувати базу даних вимірювань. 5. Реалізувати систему збору та передачі інформації на основі технології Node-RED.

6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: схема електричних з'єднань підстанції 35/10 кВ «Артемівська», Організація системи збору і передачі інформації, Пристрій релейного захисту ABB-REF615, Node-RED, Потік даних збору вимірювань, База даних вимірювань, Відображення та аналіз даних.

7. Орієнтовний перелік публікацій: 1. Марченко А. А., Губчук А. Є., Збір інформації з пристроїв релейного захисту за допомогою Node-RED // Міжнародний науково-технічний журнал. «Сучасні проблеми електроенерготехніки та автоматики», 2020.

8. Консультанти розділів дисертації^{1*}

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Стартап-проект	ст. викл., Бахмачук С. В.		
Охорона праці	професор, д.т.н., Третьякова Л.Д.		

9. Дата видачі завдання 09.11.2020_____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Робота з літературними джерелами	09.11.2020-16.11.2020	
2	Опис підстанції «Артемівська», розрахунок струмів трифазного КЗ підстанції	09.11.2020-16.11.2020	
3	Розробка структури системи збору та передачі інформації підстанції «Артемівська»	16.11.2020-23.11.2020	
4	Підключитися до пристрою релейного захисту ABB-REF615 з допомогою Node-RED	16.11.2020-23.11.2020	
5	Створення бази даних вимірювань	23.11.2020-30.11.2020	
6	Реалізація збору вимірювань	30.11.2020-07.12.2020	
7	Реалізація збереження даних	30.11.2020-07.12.2020	
8	Реалізація відображення даних	07.12.2020-10.12.2020	
9	Попередній захист дисертації	10.12.2020	

Студент

Андрій ГУБЧУК

Науковий керівник

Анатолій МАРЧЕНКО

* Консультантом не може бути зазначено керівника дипломного проекту (роботи)

РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація містить 81 сторінку, 33 таблиці, 19 рисунків, 18 джерел літератури та 7 технічних плакатів А1. Основна частина магістерської дисертації складається з вступу, трьох основних розділів, стартап-проекту, розділу охорони праці та висновків.

Актуальність теми – розширення інструментарію та функціоналу для підключення до пристроїв релейного захисту та підключення до засобів збереження інформації.

Об’єкт дослідження – підстанція «Артемівська» 35/10 кВ.

Предмет дослідження – збір режимної інформації з підстанції «Артемівська» 35/10 на основі технології Node-RED.

Мета дослідження – розробка програмного забезпечення на основі технології Node-RED для встановлення зв’язку з пристроями релейного захисту і автоматики на прикладі пристрою релейного захисту ABB-REF615 для зчитування вимірювань.

Практичне застосування результатів магістерської дисертації – побудований програмний механізм системи збору та передачі даних може бути застосований в будь-якій енергосистемі для підключення до пристроїв релейного захисту.

Апробація результатів дослідження – розробка системи оприлюднена на науково-технічній конференції «Сучасні проблеми електроенерготехніки та автоматики».

Публікації – «Збір інформації з пристроїв релейного захисту за допомогою Node-RED» в Міжнародному науково-технічному журналі «Сучасні проблеми електроенерготехніки та автоматики».

Ключові слова: ABB-REF615, MODBUS, NODE-RED, ЗЧИТУАННЯ ІНФОРМАЦІЇ, РЕЖИМНА ІНФОРМАЦІЯ, ЗБІР ІНФОРМАЦІЇ

ABSTRACT

The master's dissertation contains 81 pages, 33 tables, 19 figures, 18 sources of literature and 7 technical posters A1. The main part of the master's dissertation consists of an introduction, three main sections, a startup project, a section on labor protection and conclusions.

The relevance of the topic is the expansion of tools and functionality for connection to relay protection devices and connection to storage media.

The object of research is the 35/10 kV Artemivska substation.

The subject of the research is the collection of regime information from the Artemivska 35/10 substation on the basis of Node-RED technology.

The aim of the research is to develop software based on Node-RED technology for communication with relay protection devices and automation on the example of the ABB-REF615 relay protection device for reading measurements.

Practical application of the results of the master's dissertation - the built-in software mechanism of the data collection and transmission system can be used in any power system for connection to relay protection devices.

Approbation of the research results - the development of the system was announced at the scientific and technical conference "Modern problems of electrical engineering and automation".

Publications - "Collection of information on relay protection devices using Node-RED" in the International scientific and technical journal "Modern problems of electrical engineering and automation".

Keywords: ABB-REF615, MODBUS, NODE-RED, INFORMATION READING, REGIME INFORMATION, INFORMATION COLLECTION

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК ПРИЙНЯТИХ СКОРОЧЕНЬ	7
ВСТУП	8
1 ХАРАКТЕРИСТИКА ПІДСТАНЦІЇ 35/10кВ	9
1.1 Характеристика підстанції	9
1.2 Навантаження підстанції, перевірка вибору числа і потужності трансформаторів.	11
1.3 Розрахунок струмів короткого замикання	12
1.4 Перевірка вибору вимикача в ланцюгу трансформаторів	14
1.5 Вибір вимикача в ланцюгу відгалуження	16
1.6 Перевірка вибору роз'єднувача на стороні 10 кВ	17
1.7 Вибір вимірювальних трансформаторів.....	19
1.8 Пристрої релейного захисту та автоматики підстанції (захист ЛЕП, силових трансформаторів, автоматика ПС).....	20
1.8.1 Пристрій релейного захисту та автоматики REF 615	22
1.8.2 Пристрій релейного захисту та автоматики RET 670	23
Висновки	24
2 СИСТЕМИ ЗБОРУ І ПЕРЕДАЧІ ІНФОРМАЦІЇ	25
2.1 Структура систем збору та передачі інформації	25
2.1.1 Пристрої збору та передачі інформації.	26
2.1.2 Технології збору та передачі інформації.....	26
2.2 Мікропроцесорний пристрій релейного захисту та автоматики REF615	28
2.3 Протокол передачі даних Modbus TCP	31
2.4 Основні відомості про Node-RED	34
2.4.1 Програмування на основі потоку.....	35
2.4.2 Виконання/редактор	36
2.4.3 Історія	37
2.4.4 Можливості Node-RED для роботи з протоколом передачі даних Modbus TCP	37
2.5 Основний програмний функціонал ASP.NET.....	38
Висновки	40
2 РОЗРОБКА ТА РЕАЛІЗАЦІЯ	41
3.1 Розгортання Node-RED	41
3.2 Підключення до пристрою ABB REF615	42
3.2.1 Зчитування значень вимірювань з пристрою ABB REF615	44
3.3 Попередня обробка даних.....	45
3.4 Візуалізація даних	47

3.5 Збереження в базу даних.....	48
3.5.1 Опис бази даних.....	48
3.5.2 Збереження даних з Node-RED	50
3.5.2 Аналіз даних.....	53
Висновки	56
4 ВИВЕДЕННЯ НА РИНОК СИСТЕМИ ЗБОРУ І ПЕРЕДАЧІ ІНФОРМАЦІЇ НА	
ОСНОВІ ТЕХНОЛОГІЇ NODE-RED	57
4.1 Опис ідеї проекту.....	57
4.2 Технологічний аудит ідеї проекту	60
4.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту.....	61
Висновки	63
5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ ПІД ЧАС	
ЕКСПЛУАТАЦІЇ РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ ПІДСТАНЦІЇ.....	64
5.1 Технічні характеристики та місце розміщення підстанції	64
5.2 Визначення обсягів та послідовності робіт у ході експлуатації або під час модернізації енергетичного об'єкту	66
5.3 Визначення та оцінка показників умов праці на робочих місцях.....	66
5.4 Визначення та оцінка шкідливих і небезпечних виробничих чинників	67
5.5 Вибір технічних та організаційних заходів з безпеки праці	68
5.6 Вибір засобів індивідуального захисту для обмеження впливу небезпечних і шкідливих виробничих чинників.....	69
5.7 Вибір заходів із запобігання та ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій	70
5.8 Розрахунок заземлення шафи РЗА.....	71
Висновки	73
ВИСНОВКИ.....	74
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	76
Додаток А.....	78

ПЕРЕЛІК ПРИЙНЯТИХ СКОРОЧЕНЬ

РЗ – релейний захист;
РЗ – релейний захист та автоматика;
КЗ (к. з.) – коротке замикання;
НН – низька напруга трансформатора;
ВН – висока напруга трансформатора;
ЛЕП – лінія електропередачі;
ТС – трансформатор струму;
ТН – трансформатор напруги;
АОПЧ - автоматика обмеження підйому частоти;
АОПН - автоматика обмеження підйому напруги;
АОЗН - автоматика обмеження зниження напруги;
АОЗЧ - автоматика обмеження зниження частоти;
ДФЗ - диференційно-фазний захист;
МСЗ - максимально-струмовий захист;
СВ - струмова відсічка;
ДЗ - дистанційний захист;
АПВ - автоматика повторного включення;
АВР - автоматика вводу резерву;
АЧР - автоматика частотного розвантаження;
ДЗТ – диференційний захист трансформатора;
ГЗ - газовий захист;
ПРВВ - пристрій резервування відмови вимикача;
АЗЗО - автоматика запобігання перевантаженню обладнання;
СЗПІ – система збору і передачі інформації;

ВСТУП

Будь-який енергетичний процес – описується набором тисяч параметрів які змінюються як по відомих законах так і випадковим чином. Моніторинг та аналіз всіх параметрів надзвичайно складний і не може виконуватись людиною. Сучасні технології дозволять автоматизувати або значно спростити збір та обробку режимних параметрів.

Завдання збору та передачі інформації виконують системи збору і передачі і інформації (СЗПІ). Для їх реалізації використовуються різноманітні технології. З ростом кількості можливих джерел та засобів збереження інформації виникає завдання їх підтримки. Часто, вимірювальні мікропроцесорні пристрої від різних виробників підтримують не всі інтерфейси зв'язку та протоколи передачі даних а для збереження даних з різних джерел використовуються бази даних, що найкраще підходять для збереження даних конкретного типу. Об'єднання всіх пристроїв та засобів збереження даних в єдину інформаційну систему стає дуже складним та вимагає постійної підтримки.

Побудова концепту універсальної СЗПІ є головним завданням даної роботи, саме тому вона є актуальною.

Результатом цієї роботи буде СЗПІ, яка дає змогу швидкого підключення нових пристроїв, підтримку великої кількості протоколів передачі даних, налаштування первинної обробки даних та збереження.

1 ХАРАКТЕРИСТИКА ПІДСТАНЦІЇ 35/10кВ

1.1 Характеристика підстанції

Підстанція 35/10 кВ «Артемівська» була побудована для постачання електроенергії побутовим споживачам [4]. Схема електричних з'єднань підстанції наведена на рис. 1.1.

До підстанції підключено дві лінії напругою 35 кВ – «Жовтнева» (загальна довжина 5.7 км) та «Кабельна» (загальна довжина 10.1 км). Обидві лінії включають в себе ділянки різного виконання (повітря/кабель). та довжини.

Шини 10 кВ підключені через два трансформатори:

- ТД– 5000/35.5/11;
- ТДН–15000/35/10.5;

Кожен трансформатор підключено через вимикач ВМП-10-1000-20.

Секціонування шин 10 кВ виконано вимикачем ВМП–10П. Загалом до шин 10 кВ підключено 28 приєднань. Кожне приєднання обладнане:

- вимикачем ВМП - 10;
- роз'єднувачем РШ-10/600;
- ВТС ТВЛМ-10/400 (ТВЛМ-10/200, ТВЛМ-10/1000, ТВЛМ-10/300);

Для вимірювання напруги на шинах 35 і 10 кВ встановлені ВТН.

1.2 Навантаження підстанції, перевірка вибору числа і потужності трансформаторів.

Вибір потужності трансформаторів проводиться по сумарному навантаженню підстанції за розрахунковий період. При відсутності резервних ланцюгів При відсутності резервних ланцюгів по мережам нижчої напруги потужність кожного трансформатору обирають рівній $0,65-0,7 S_{\max}$.

Потужність приєднання складає 0.6 МВА. Для виконання перевірки розділимо навантаження між трансформаторами за умови розімкненого секційного вимикача. Тоді від трансформатора ТД– 5000/35.5/11 живиться 8 приєднань, $S_{\max 1}$ складає 4.8 МВА та від трансформатора ТДН–15000/35/10.5 8 приєднань, $S_{\max 2}$ складає 4.8 МВА

S_{\max} – максимальне навантаження на шинах нижчої напруги в розрахунковий період часу. На підстанції «Артемівська» за 2013 рік $S_{\max. \text{ сум.}} = 10 \text{ МВА}$.

$$S_{\max 1} = 4.8 \text{ МВА}$$

$$S_{\text{тр}1} = 5 \text{ МВА}$$

$$S_{\max 2} = 4.8 \text{ МВА}$$

$$S_{\text{тр}2} = 15 \text{ МВА}$$

На підстанції «Артемівська» встановлені два трансформатори (паспортні дані в табл. 1.1), для забезпечення живлення споживачів.

Таблиця 1.1 – Паспортні дані трансформаторів [9]

	$S_{\text{ном}}$, МВА	Межі регулювання, %	$U_{\text{ном}}$, кВ		u_k , %	$\Delta P_{\text{кз}}$, кВт	$\Delta P_{\text{хх}}$, кВт	$I_{\text{хх}}$, %
			ВН	НН				
ТД- 5000/35.5/11	5	$\pm 2 \times 2,5$	35,5	11	7,5	57	18,5	4,5
ТДН- 15000/35/10.5	15	$\pm 4 \times 2,5$	35	10,5	8	122	39	3

Як можна побачити потужність трансформаторів вибрана таким чином, що при відключенні трансформатору ТДН–15000/35/10.5 потужності трансформатору ТД– 5000/35.5/11 не вистачить для живлення всіх споживачів.

Дану ситуацію можна пояснити тим, що при проектуванні підстанції розрахункова потужність навантаження була значно меншою. Проте для живлення споживачів, що підключені до секцій окремих трансформаторів потужності вистачає.

1.3 Розрахунок струмів короткого замикання

Розрахунок струмів короткого замикання проведемо за допомогою програмного комплексу PowerFactory [18]. Для розрахунку КЗ виберемо найгірший варіант: трифазне КЗ на шини за трансформаторами при увімкненому секційному вимикачі.

Приведемо схему заміщення (рис.1.2).

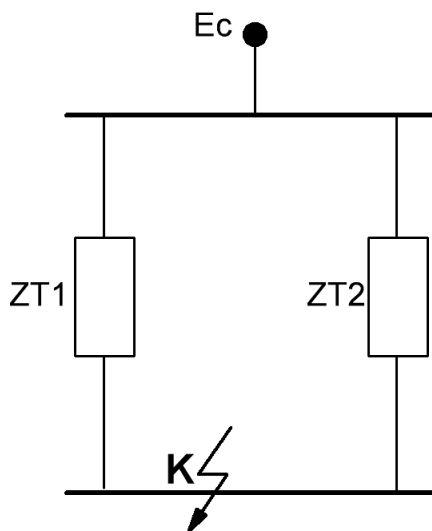


Рисунок 1.2 - Схема заміщення для розрахунків струмів короткого замикання

Програмний комплекс PowerFactory при розрахунку струмів КЗ враховує активний опір, тому на схемі заміщення опори трансформаторів

представлені повним опором.

Результати розрахунків струмів КЗ представлені в табл. 1.2.

Таблиця 1.2 - Результати розрахунку струмів КЗ

Ударний струм КЗ, кА	Усталений струм КЗ, кА
36,71	15,14

Ручний розрахунок струмів КЗ:

Виберемо базисні значення:

$$U_6 = 10,5 \text{ кВ}; \quad S_6 = 5 \text{ МВА}; \quad E_* = 1,1 \text{ в. о.};$$

Знайдемо опори трансформаторів. Для спрощення розрахунку будемо використовувати лише реактивний опір. Опір трансформаторів розраховується за формулою:

$$x_{T1} = \frac{U_{к.Т1} \cdot S_6}{100 \cdot S_{н.Т1}} = \frac{7,5 \cdot 5}{100 \cdot 5} = 0,075 \text{ в. о.}$$

$$x_{T2} = \frac{U_{к.Т2} \cdot S_6}{100 \cdot S_{н.Т2}} = \frac{8 \cdot 5}{100 \cdot 15} = 0,027 \text{ в. о.}$$

Еквівалентний опір шукаємо відповідно до схеми заміщення на рис.1.2:

$$x_e = \frac{x_{T1} \cdot x_{T2}}{x_{T1} + x_{T2}} = \frac{0,075 \cdot 0,027}{0,075 + 0,027} = 0,02 \text{ в. о.}$$

$$I_6 = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_6} = \frac{5}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 0,275 \text{ кА}$$

$$I_{п0*} = \frac{E_*}{x_e} = \frac{1,1}{0,02} = 55,917 \text{ в. о.}$$

$$I_{п0} = I_6 \cdot I_{п0*} = 0,275 \cdot 55,917 = 15,373 \text{ кА}$$

Знайдемо ударний струм:

Для напруги 10.5 кВ (сторона НН трансформаторів):

$$k_{уд} = 1,85; \quad T_a = 0,06 \text{ с};$$

$$i_{уд} = \sqrt{2} \cdot k_{уд} \cdot I_{п0} = \sqrt{2} \cdot 1,85 \cdot 15,373 = 40,221 \text{ кА}$$

Таблиця 1.3 - Порівняння ручного та програмного розрахунку

	Ударний струм КЗ, кА	Усталений струм КЗ, кА
Програмний розрахунок	36,71	15,14
Ручний розрахунок	40,221	15,373

Як можна побачити з табл. 1.3 ручні розрахунки відрізняються від програмних, що можна пояснити неврахуванням активних опорів при ручних розрахунках.

Надалі для перевірки вибору обладнання будемо використовувати струми отримані з допомогою PowerFactory, оскільки вони більш точні.

1.4 Перевірка вибору вимикача в ланцюгу трансформаторів

Вимикач вибираємо відповідно до напруги встановлення $U_{вст}$ та по усталеному струму КЗ в відповідності з умовами[8]:

- $U_{вст} \leq U_{макс};$
- $I_{обв} \leq I_H;$
- $i_{уд} \leq i_{дин};$
- $I_{по} \leq I_{від};$
- $В_{к.розр} \leq I_T^2 \cdot t_T;$

Струм обваженого режиму визначається при знижені напруги на 5% (перевіримо для трансформатора з потужністю 15 МВА)[18]:

$$I_{обв} = \frac{S_H}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot 0,95} = \frac{15}{\sqrt{3} \cdot 10,5 \cdot 0,95} = 0,868 \text{ кА}$$

На підстанції встановлено вимикач ВМП-10-1000-20, паспортні дані якого наведені в таблиці 1.4.

Таблиця 1.4 - Паспортні дані вимикача ВМП-10-1000-20

Номинальна напруга, кВ	10 (максимальна 11.5 кВ)
Номинальна потужність вимкнення, МВА	200
Номинальний струм, кА	1
Номинальний струм вимкнення, кА	20
Номинальний струм динамічної стійкості (діюче значення), кА	52
Граничний струм термічної стійкості, кА	20
Допустимий час дії граничного струму, с	4
Власний час відключення, с	0,1

Перевірка вибраного вимикача на термічну стійкість:

$$W_{\text{к.розр}} \leq I_T^2 \cdot t_T$$

$$W_{\text{к.розр}} = I_{\text{по}}^2 \cdot (t_{\text{відкл}} + T_a) = 15,14^2 \cdot (0,1 + 0,6) = 150,454 \text{ кА}^2\text{с}$$

$$W_{\text{к.}} = I_{\text{терм}}^2 \cdot t_{\text{терм}} = 20^2 \cdot 4 = 1600 \text{ кА}^2\text{с}$$

де: $W_{\text{к}}$ – тепловий імпульс.

Перевірка на вимикаючу здатність:

$$i_{\text{уд}} = 36,71 \leq i_{\text{дин}} = 52;$$

$$I_{\text{по}} = 15,14 \leq I_{\text{від}} = 20;$$

Зведемо розрахункові та каталожні дані в таблицю 1.5.

Таблиця 1.5 - Порівняння розрахункових та каталожних даних

Розрахункові параметри	Каталожні дані	Умови перевірки
$U_{\text{вст}}=10.5 \text{ кВ}$	$U_{\text{макс}}=11.5 \text{ кВ},$	$U_{\text{вст}} \leq U_{\text{макс}}$ $10.5 \text{ кВ} < 11.5 \text{ кВ}$
$I_{\text{обв}}=868 \text{ А}$	$I_{\text{н}}=1000 \text{ А}$	$I_{\text{обв}} \leq I_{\text{н}}$ $868 \text{ А} < 1000 \text{ А}$
$I_{\text{по}}=15.14 \text{ кА}$	$I_{\text{від}}=20 \text{ кА}$	$I_{\text{по}} \leq I_{\text{від}}$ $15.14 \text{ кА} < 20 \text{ кА}$
$i_{\text{уд}}=36.71 \text{ кА}$	$i_{\text{дин}}=52 \text{ кА}$	$i_{\text{уд}} \leq i_{\text{дин}}$ $36.71 \text{ кА} < 52 \text{ кА}$
$W_{\text{к.розр}}=166.876 \text{ кА}^2\cdot\text{с}$	$W_{\text{к}}=1600 \text{ кА}^2\cdot\text{с}$	$W_{\text{к.розр}} \leq I_T^2 \cdot t_T$ $160.454 \text{ кА}^2\cdot\text{с} < 1600 \text{ кА}^2\cdot\text{с}$

З порівняння даних (табл. 1.5) видно, що вибраний трансформатор відповідає всім вимогам.

1.5 Вибір вимикача в ланцюгу відгалуження

Вимикач вибираємо відповідно до напруги встановлення $U_{вст}$ та по усталеному струму КЗ в відповідності з умовами[8]:

- $U_{вст} \leq U_{макс};$
- $I_{обв} \leq I_H;$
- $i_{уд} \leq i_{дин};$
- $I_{по} \leq I_{від};$
- $В_{к.розр} \leq I_T^2 \cdot t_T;$

Струм обваженого режиму визначається при знижені напруги на 5%:

$$S_H = 0,6$$

$$I_{обв} = \frac{S_H}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot 0,95} = \frac{0,6}{\sqrt{3} \cdot 10,5 \cdot 0,95} = 0,035 \text{ кА}$$

На відгалуженнях встановлені вимикачі ВМП-10-630-20, паспортні дані якого наведені в таблиці 1.6

Таблиця 1.6 - Паспортні дані вимикача ВМП-10-630-20

Номінальна напруга, кВ	10 (максимальна 11.5 кВ)
Номінальна потужність вимкнення, МВА	200
Номінальний струм, кА	1
Номінальний струм вимкнення, кА	20
Номінальний струм динамічної стійкості (діюче значення), кА	52
Граничний струм термічної стійкості, кА	20
Допустимий час дії граничного струму, с	4
Власний час відключення, с	0,1

Перевірка вибраного вимикача на термічну стійкість:

$$B_{\text{к.розр}} \leq I_T^2 \cdot t_T$$

$$B_{\text{к.розр}} = I_{\text{по}}^2 \cdot (t_{\text{відкл}} + T_a) = 15,14^2 \cdot (0,1 + 0,6) = 150,454 \text{ кА}^2\text{с}$$

$$B_{\text{к.}} = I_{\text{терм}}^2 \cdot t_{\text{терм}} = 20^2 \cdot 4 = 1600 \text{ кА}^2\text{с}$$

де: $B_{\text{к}}$ – тепловий імпульс.

Перевірка на вимикаючу здатність:

$$i_{\text{уд}} = 36,71 \leq i_{\text{дин}} = 52;$$

$$I_{\text{по}} = 15,14 \leq I_{\text{від}} = 20;$$

Зведемо розрахункові та каталожні дані в таблицю 1.7.

Таблиця 1.7 - Порівняння розрахункових та каталожних даних

Розрахункові параметри	Каталожні дані	Умови перевірки
$U_{\text{вст}}=10.5 \text{ кВ}$	$U_{\text{макс}}=11.5 \text{ кВ},$	$U_{\text{вст}} \leq U_{\text{макс}}$ $10.5 \text{ кВ} < 11.5 \text{ кВ}$
$I_{\text{обв}}=35 \text{ А}$	$I_{\text{н}}=1000 \text{ А}$	$I_{\text{обв}} \leq I_{\text{н}}$ $35 \text{ А} < 1000 \text{ А}$
$I_{\text{по}}=15.14 \text{ кА}$	$I_{\text{від}}=20 \text{ кА}$	$I_{\text{по}} \leq I_{\text{від}}$ $15.14 \text{ кА} < 20 \text{ кА}$
$i_{\text{уд}}=36.71 \text{ кА}$	$i_{\text{дин}}=52 \text{ кА}$	$i_{\text{уд}} \leq i_{\text{дин}}$ $36.71 \text{ кА} < 52 \text{ кА}$
$B_{\text{к.розр}}=166.876 \text{ кА}^2\cdot\text{с}$	$B_{\text{к}}=1600 \text{ кА}^2\cdot\text{с}$	$B_{\text{к.розр}} \leq I_T^2 \cdot t_T$ $166.876 \text{ кА}^2\cdot\text{с} < 1600 \text{ кА}^2\cdot\text{с}$

З порівняння даних (табл. 1.7) видно, що вибраний трансформатор відповідає всім вимогам.

1.6 Перевірка вибору роз'єднувача на стороні 10 кВ

Умови вибору роз'єднувача[8]:

$$- U_{\text{вст}} \leq U_{\text{макс}};$$

- $I_{обв} \leq I_H$;
- $i_{уд} \leq i_{дин}$;
- $I_{по} \leq I_{дин}$;
- $B_{к.розр} \leq I_T^2 \cdot t_T$;

На підстанції «Артемівська» на відгалуженнях встановлені роз'єднувачі РШ-10/600, паспортні дані якого приведені 1.8.

Перевірка вибраного роз'єднувача на електродинамічну стійкість.

$$S_H = 0,6$$

$$I_{обв} = \frac{S_H}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot 0,95} = \frac{0,6}{\sqrt{3} \cdot 10,5 \cdot 0,95} = 0,035 \text{ кА}$$

Таблиця 1.8 - Паспортні дані роз'єднувача РШ-10/600

Номінальна напруга, кВ	10 (максимальна 12 кВ)
Номінальна потужність вимкнення, МВА	200
Номінальний струм, кА	0,6
Номінальний струм динамічної стійкості (діюче значення), кА	51
Граничний струм термічної стійкості, кА	20
Допустимий час дії граничного струму, с	3

Перевірка вибраного роз'єднувача на термічну стійкість:

Будемо вважати, що час спрацювання МСЗ рівна 1.2 с.

$$B_{к.розр} \leq I_T^2 \cdot t_T$$

$$B_{к.розр} = I_{по}^2 \cdot (t_{МСЗ} + T_a) = 15,14^2 \cdot (1,2 + 0,6) = 412.595 \text{ кА}^2\text{с}$$

$$B_{к.} = I_{терм}^2 \cdot t_{терм} = 20^2 \cdot 3 = 1200 \text{ кА}^2\text{с}$$

де: $B_{к.}$ – тепловий імпульс.

Перевірка на вимикаючу здатність:

$$i_{уд} = 36,71 \leq i_{дин} = 52;$$

$$I_{по} = 15,14 \leq I_{від} = 20;$$

Зведемо розрахункові та каталожні дані в таблицю 1.9.

Таблиця 1.9 - Порівняння розрахункових та каталожних даних

Розрахункові параметри	Каталожні дані	Умови перевірки
$U_{\text{вст}}=10.5 \text{ кВ}$	$U_{\text{макс}}=12 \text{ кВ},$	$U_{\text{вст}} \leq U_{\text{макс}}$ $10.5 \text{ кВ} < 12 \text{ кВ}$
$I_{\text{обв}}=35 \text{ А}$	$I_{\text{н}}=600 \text{ А}$	$I_{\text{обв}} \leq I_{\text{н}}$ $35 \text{ А} < 600 \text{ А}$
$I_{\text{по}}=15.14 \text{ кА}$	$I_{\text{від}}=20 \text{ кА}$	$I_{\text{по}} \leq I_{\text{від}}$ $15.14 \text{ кА} < 20 \text{ кА}$
$i_{\text{уд}}=36.71 \text{ кА}$	$i_{\text{дин}}=51 \text{ кА}$	$i_{\text{уд}} \leq i_{\text{дин}}$ $36.71 \text{ кА} < 51 \text{ кА}$
$B_{\text{к.розр}}=412.595 \text{ ка}^2\cdot\text{с}$	$B_{\text{к}}=1200 \text{ ка}^2\cdot\text{с}$	$B_{\text{к.розр}} \leq I_{\text{Т}}^2 \cdot t_{\text{Т}}$ $412.595 \text{ ка}^2\cdot\text{с}$ $< 1200 \text{ ка}^2\cdot\text{с}$

Вибраний роз'єднувач відповідає всім поставленим вимогам.

1.7 Вибір вимірювальних трансформаторів

Для вибору вимірювального трансформатору струму визначають його вторинне навантаження Z_2 чи S_2 і порівнюють їх з номінальними величинами $Z_{2\text{ном}}$ та $S_{2\text{ном}}$ в заданому класі точності, взятими з каталогу.

Щоб трансформатор працював в заданому класі точності необхідно задовольнити вимогу:

$$Z_2 \leq Z_{2\text{ном}};$$

$$S_2 \leq S_{2\text{ном}};$$

Вторинне навантаження в омах визначається по формулі:

$$Z_2 \approx \Sigma Z_{\text{пр}} + R_{\text{пров}} + R_{\text{контактів}}$$

Коефіцієнт трансформації трансформатору струму представляє собою відношення первинного номінального струму до вторинного:

$$k = \frac{I_{н1}}{I_{н2}} \approx \frac{\omega_1}{\omega_2}$$

Типи вимірювальних трансформаторів напруги (ТН) вибирають у відповідності з вимірювальними приладами і реле, що підлягають приєднанню до них. Далі підраховують очікуване навантаження трансформаторів і перевіряють похибки. У нормальному режимі навантаження трансформатора визначається споживанням приєднаних вимірювальних приладів і реле. З цього навантаження і заводських характеристик можна судити, в якому класі буде працювати вибраний до встановлення трансформатор і, отже, про придатність його для живлення приєднаних приладів і реле.

Коефіцієнт трансформації ІТН є відношенням первинної номінальної напруги до вторинної:

$$k = \frac{U_{н1}}{U_{н2}} \approx \frac{\omega_1}{\omega_2}$$

1.8 Пристрої релейного захисту та автоматики підстанції (захист ЛЕП, силових трансформаторів, автоматика ПС)

Всі ЛЕП підстанції обладнані:

- МСЗ;
- СВ;
- ДЗ;
- АПВ;

Трансформатори підстанції обладнані:

- ДЗТ;
- ГЗ;
- МСЗ;

Підстанція обладнана наступною протиаварійною автоматикою:

- АБР;
- АЧР;
- АЗЗО;
- АОПЧ;
- АОПН;
- АОЗН;
- АОЗЧ;
- ПРВВ;

Типові схеми підключення захистів ЛЕП та трансформаторів показані на рис. 1.3 та 1.4.

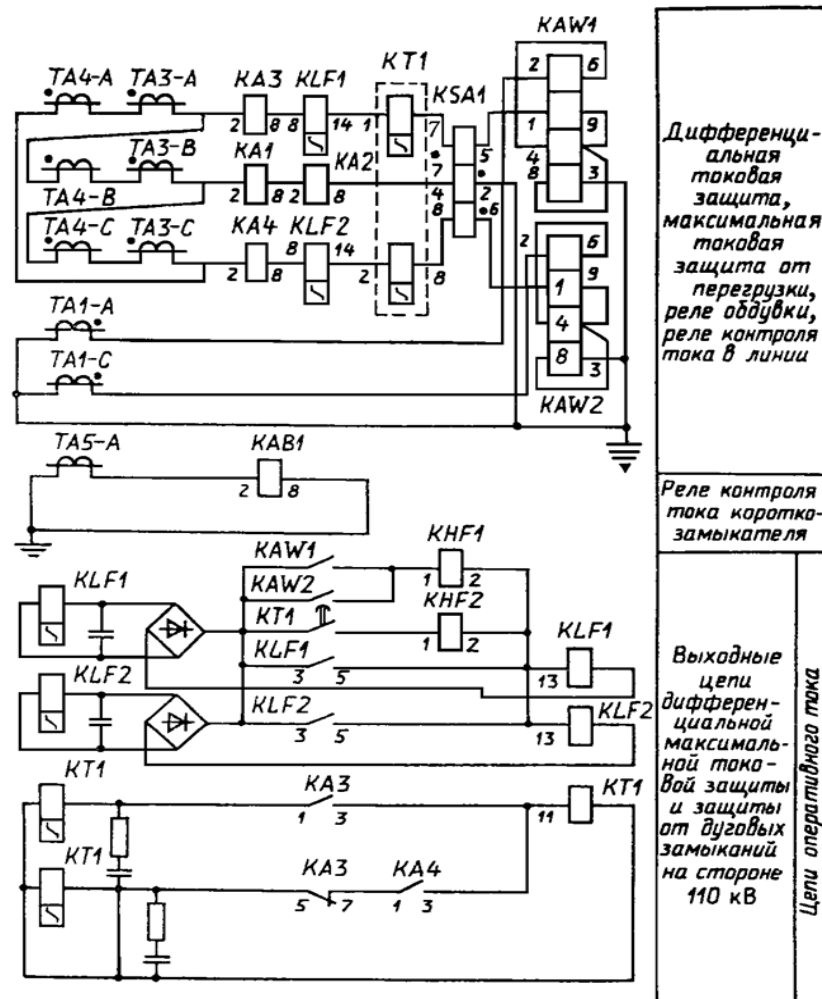


Рисунок 1.3 - Типова схема підключення захистів ЛЕП

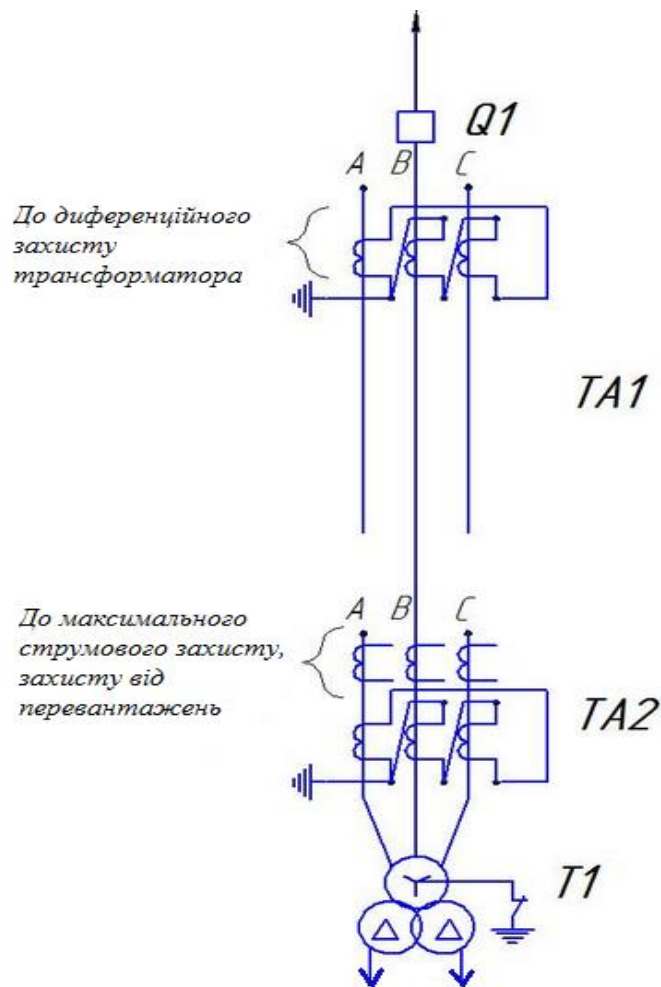


Рисунок 1.4 - Типова схема підключення захистів трансформатора

1.8.1 Пристрій релейного захисту та автоматики REF 615

Пристрій фірми ABB REF615 – є багатофункціональним пристроєм який виконує функції захисту та управління фідера а також вимірювань і контролю в промислових енергосистемах та енергосистемах загального користування. Пристрій може встановлюватись в радіальні, кільцеві і замкнуті розподільні мережі а також в мережі з розподіленою генерацією. ABB REF615 є одним з пристроїв РЗА серії 615 сімейства пристроїв Relion®. Особливістю мікропроцесорних пристроїв серії 615 є малі габарити та виконання на основі модулів [6].

Основні функції пристрою, якими може бути обладнаний пристрій в різних конфігураціях [6]:

- Ненаправлений максимально-струмовий захист;
- Направлений захист від замикань на землю;
- Направлений захист від замикань на землю на основі виміру фазної напруги;
- Високоомний диференційний захист;
- Функції захисту та вимірів на основі контролю напруги та частоти;
- Контроль якості електроенергії;
- Функція визначення місця пошкодження;

Додаткові функції:

- Дуговий захист;
- Modbus TCP/IP чи RTU/ASCII;
- IEC 60870-5-103.
- DNP3 TCP/IP чи послідовний;
- RTD/mA вимірювання та багатоцільовий захист;
- IEC 61850-9-2 LE;
- IEEE 1588 v2 синхронізація часу;

1.8.2 Пристрій релейного захисту та автоматики RET 670

Пристрій фірми ABB - RET 670 застосовується для захисту трансформаторів. Пристрій широко застосовується для захисту трансформаторів на підстанціях адже має надійну апаратну частину та широкі можливості.

RET670 забезпечує швидкодіючий і селективний захист, моніторинг та управління дво- і три-обмоткових трансформаторів, автотрансформаторів, блоків генератор-трансформатор[7].

Основні властивості пристрою [7]:

- Чотири варіанти заводської конфігурації для схем з одним або декількома вимикачами;

- Можливість використання для захисту силових трансформаторів, автотрансформаторів, шунтуючих реакторів, ошиновок, блоків генератор-трансформатор, а також фазорегуляторів;
- Диференціальний захист трансформатора;
- Диференціальний захист нульової послідовності;
- Повно схемний дистанційний захист від міжфазних КЗ і КЗ на землю з п'ятьма зонами з відбудовою від області навантажувальних режимів;
- Функція швидкодіючого захисту від замикань на землю з невеликим розширенням зони дії захисту в перехідному режимі;
- Направлений захист від замикань на землю з чотирма ступенями для кожної обмотки;
- Шість незалежних груп уставок, що охоплюють весь діапазон параметрів, що задаються;
- Розвинений інструментарій завдання уставок, зчитування і оцінки осцилограм завдання конфігурації;
- Порти зв'язку Ethernet для підключення до системи контролю (АСК) по протоколу MEK 61850-8-1;

Висновки

В розділі був проведений аналіз силового обладнання та релейного захисту підстанції 35/10 кВ.

Отримано перелік автоматики та мікропроцесорних пристроїв релейного захисту з можливістю налаштування віддаленого збору інформації через мережу Ethernet (ABB REF615).

На основі отриманої інформації зроблено висновок про можливість збору інформації через мережу Ethernet з релейних пристроїв ABB-REF615 підстанції 35/10 кВ.

2 СИСТЕМИ ЗБОРУ І ПЕРЕДАЧІ ІНФОРМАЦІЇ

2.1 Структура систем збору та передачі інформації

Система збору і передачі інформації (СЗПІ) – це широке поняття, яке в різних галузях промисловості може трактуватися з відмінностями. В енергетиці це поняття включає технічні та програмні засоби, що забезпечують збір та передачу інформації а саме:

- Мікропроцесорні пристрої для вимірювання, первинної обробки та тимчасового збереження інформації;
- Середовище передачі інформації (канали зв'язку);
- Сервери, для обробки та зберігання інформації;
- Програмне програмні технології, що забезпечують обробку, передачу, збереження інформації.

Структура типової СЗПІ представлена на рис. 2.1.



Рисунок 2.1 Структура типової СЗПІ

Багато в чому ефективність СЗПІ залежить від програмних технологій, що використовуються, для збору та передачі інформації, в поточній магістерській дисертації основну увагу буде приділено програмній частині СЗПІ.

2.1.1 Пристрої збору та передачі інформації.

Пристрої збору та передачі інформації забезпечують потік інформації в системі.

В енергетиці пристроями збору інформації є вимірювальні прилади, що можуть підключатись як окремо, так і бути вмонтованими в прилади релейного захисту.

Сучасні прилади релейного захисту обладнуються апаратним інтерфейсом для мереж Ethernet, підтримують основні промислові протоколи передачі даних такі як: Modbus(RTU, TCP), TCP/IP, FTP та надають можливість зчитування значень вимірюваних величин. В поточній магістерській дисертації буде розглянутий пристрій релейного захисту фірми ABB REF615 (детальний опис подано нижче).

Пристроями передачі інформації є всі пристрої за допомогою яких організовуються канали зв'язку. Канали зв'язку можуть організовуватись за різними принципами (безпроводні, ВЧ зв'язок по ЛЕП, окремі оптоволоконні канали і т.п.). В магістерській дисертації буде розглянуто підключення пристрою REF615 по каналу Ethernet з використанням протоколу Modbus TCP.

2.1.2 Технології збору та передачі інформації.

Програмні та інформаційні технології в системі вирішують наступні завдання:

- Забезпечення обміну даними між пристроями та програмним забезпеченням в системі;

- Програмну обробку інформації;
- Збереження інформації;
- Аналіз інформації;
- Захист системи та інформації в системі.

Одним з найважливіших завдань при організації збору інформації є забезпечення обміну даними між різними пристроями та програмами. Різноманітні пристрої та програми, зазвичай, зберігають і працюють з інформацією в різних формах. Для забезпечення взаємодії необхідно приводити інформацію до форми, яку підтримують всі пристрої та програмне забезпечення в системі. Це завдання вирішується за допомогою вибору протоколу передачі даних.

За останні роки було розроблено безліч протоколів передачі даних в тому числі і доволі специфічних. Не дивлячись на велику кількість протоколів передачі даних, кожен з яких має свої переваги та недоліки на даний момент в промисловості найпопулярнішим залишається «Modbus» (детальний опис протоколу поданий нижче).

Завдання обробки, збереження, аналізу та захисту інформації зазвичай вирішує окремий програмний комплекс, фізично розміщений на сервері додатків. Основними складовими частинами такого програмного комплексу є:

- Модуль забезпечення інтерфейсів зв'язку (підтримка протоколів передачі даних);
- Модуль обробки інформації;
- Модуль зберігання інформації(зв'язку з базою даних);
- Модуль аналізу та відображення інформації;

В перших СЗПІ всі програмні модулі реалізувались за допомогою однієї технології та мови програмування. Використання однієї технології значно спрощувало внутрішню організацію програмного комплексу. Але з розвитком інформаційних технологій для вирішення специфічних завдань з'явилися

окремі технології, які забезпечували максимальну оптимізацію та, відповідно, швидкодію.

Для прикладу можна навести такі технології та інструменти:

- Node-RED (детальний огляд подано нижче) – програмне забезпечення, призначене для візуального програмування «потоків даних», реалізоване за допомогою мови програмування «JavaScript»;
- Cassandra – система управління базами даних, яка відноситься до класу NoSQL-систем та призначена для зберігання великих масивів даних (наприклад, первинні вимірювання);
- Microsoft SQL Server (детальний огляд подано нижче)– система управління реляційними базами даних призначена для зберігання та захисту структурованих даних;
- ASP.NET (детальний огляд подано нижче)– платформа розробки веб додатків та веб сервісів.

2.2 Мікропроцесорний пристрій релейного захисту та автоматики REF615

Пристрій фірми ABB REF615 – є багатофункціональним пристроєм який виконує функції захисту та управління фідера а також вимірювань і контролю в промислових енергосистемах та енергосистемах загального користування. Пристрій може встановлюватись в радіальні, кільцеві і замкнуті розподільні мережі а також в мережі з розподіленою генерацією. ABB REF615 є одним з пристроїв РЗА серії 615 сімейства пристроїв Relion®. Особливістю мікропроцесорних пристроїв серії 615 є малі габарити та виконання на основі модулів [6].

Цей пристрій підтримує роздільно направлений і ненаправлений максимальний струмовий захист і захист від теплового перевантаження, а

також направлений і ненаправлений захист від замикань на землю. В деяких стандартних конфігураціях на додаток до направленої захисту від замикань на землю можна замовити захист від замикань на землю на основі контролю комплексної провідності, струму вищих гармонік або активної потужності. Крім того, в пристрої є функції чутливого захисту від замикань на землю, а також захисту від обриву фази, від перехідних замикань на землю, від підвищення/пониження напруги, від підвищення напруги нульової послідовності, від зниження напруги прямої послідовності і від підвищення напруги зворотної послідовності. В стандартних конфігураціях H, J, K, L і N є захист по частоті, в тому числі захист від підвищення/пониження частоти, а також за швидкістю зміни частоти. ІЕП також передбачає можливість трифазного багаторазового АПВ повітряних ліній.

Крім того, в стандартних конфігураціях L і N передбачений захист від замикань на землю на основі контролю комплексної провідності в широкому частотному діапазоні, що забезпечує селективний спрямований захист від замикань на землю в мережах з заземленою через високий повний опір нейтраллю. Принцип дії заснований на вимірюванні комплексної провідності нейтралі в широкому частотному діапазоні з використанням складових основної частоти і гармонік в $3U_0$ і $3I_0$. Завдяки спеціальному алгоритму фільтрації спрямованість ушкодження достовірно визначається навіть у разі перехідних/повторних замикань на землю. Забезпечується дуже гарне поєднання надійності та чутливості захисту з однією функцією від низько- і високоомних замикань на землю, а також перехідних або повторних замикань на землю.

Вдосконалений за рахунок застосування додаткового обладнання та програмного забезпечення, пристрій також оснащений трьома каналами датчиків світла для дугового захисту вимикача, ошиновки і кабельного відсіку комплектного розподільного пристрою в металевому корпусі.

Інтерфейс датчиків дугового захисту встановлений в модулі зв'язку, який можна замовити додатково. Швидке відключення підвищує рівень

безпеки персоналу і обмежує розмір матеріальних збитків в розподільчому пристрої при виникненні дугового замикання. В якості додаткового можна вибрати модуль дискретних входів/виходів з трьома швидкодіючими дискретними виходами (HSO), які дозволять ще зменшити загальний час спрацювання на 4 - 6 мс в порівнянні зі звичайними виходами.

Пристрій обладнаний апаратним інтерфейсом для підключення до мережі Ethernet, що представляє передову і універсальну платформу для захисту електромереж.

ІЕУ АВВ підтримують різноманітні протоколи обміну даними, включаючи МЕК 61850 з підтримкою Редакції 2, шину процесу відповідно до МЕК 61850-9-2 LE, МЕК 60870-5-103, Modbus® і DNP3. Протокол зв'язку Profibus DPV1 підтримується при використанні перетворювача протоколів SPA-ZC 302. Ці протоколи дозволяють отримувати робочі дані і здійснювати управління. Тим не менш, деякі функції зв'язку, наприклад горизонтальна зв'язок між пристроями, надаються тільки по протоколу МЕК 61850.

Для мережі зв'язку Ethernet з резервуванням в пристрої можна використовувати два оптичних або два гальванічних мережевих інтерфейси Ethernet. Також є третій порт з гальванічним мережевим інтерфейсом Ethernet. Третій інтерфейс Ethernet забезпечує підключення всіх інших пристроїв Ethernet до станційної шини МЕК 61850 усередині комірки розподільного пристрою, наприклад, підключення модуля розширення аналогових/дискретних сигналів. Резервування мережі Ethernet можна домогтися за допомогою протоколу безшовного резервування високої доступності (HSR). Технічне рішення може бути застосоване для протоколів на базі Ethernet МЕК 61850, Modbus і DNP3.

Реалізація з використанням Modbus підтримує RTU, ASCII і TCP. Крім стандартних можливостей Modbus, в пристрої реалізовано можливість вивантаження подій з відмітками часу та зміну групи уставок, вивантаження файлів реєстратора аварійних подій. Якщо використовується підключення Modbus TCP, до пристрою можуть підключатися одночасно п'ять клієнтів.

Крім того, можливе використання Modbus RTU і Modbus TCP паралельно, також, за необхідності можуть працювати паралельно, MEK 61850 та Modbus.

Таблиця 2.1 - Підтримка інтерфейсів/протоколів пристроєм ABB REF615

Інтерфейси/ протоколи	Ethernet		Послідовний	
	100BASE-TX RJ-45	100BASE-FX LC	RS-232/RS-485	Оптоволоконний ST
MEK 61850-8-1	+	+	-	-
MEK 61850-9-2 LE	+	+	-	-
MODBUS RTU/ASCII	-	-	+	+
MODBUS TCP/IP	+	+	-	-
DNP3(послідовний)	-	-	+	+
DNP3 TCP/IP	+	+	-	-
MEK 60870-5-103	-	-	+	+

2.3 Протокол передачі даних Modbus TCP

Modbus - відкритий комунікаційний протокол, заснований на архітектурі ведучий - ведений (master-slave). Набув широкого застосування в енергетиці для реалізації зв'язку між електронними пристроями. Може бути передавати дані через послідовні лінії зв'язку RS-485, RS-422, RS-232, і мережі TCP / IP (Modbus TCP).

Таблиця 2.2 - Модель OSI для Modbus

Номер рівня	Назва рівня	Реалізація
7	Прикладний	Modbus application protocol
6	Рівень представлення	Немає
5	Сеансовий	Немає
4	Транспортний	Немає

Продовження таблиці 2.2

Номер рівня	Назва рівня	Реалізація
3	Мережевий	Немає
2	Канальний (передачі даних)	Протокол ведучий - ведений. Режими Modbus RTU, Modbus ASCII
1	Фізичний	RS-485 або RS-232

Існує дві основні реалізації Протокол Modbus може працювати в трьох режимах: Modbus RTU, Modbus ASCII та Modbus TCP. Розглянемо більш детально Modbus TCP, структура запиту якого приведена на рис. 2.2.

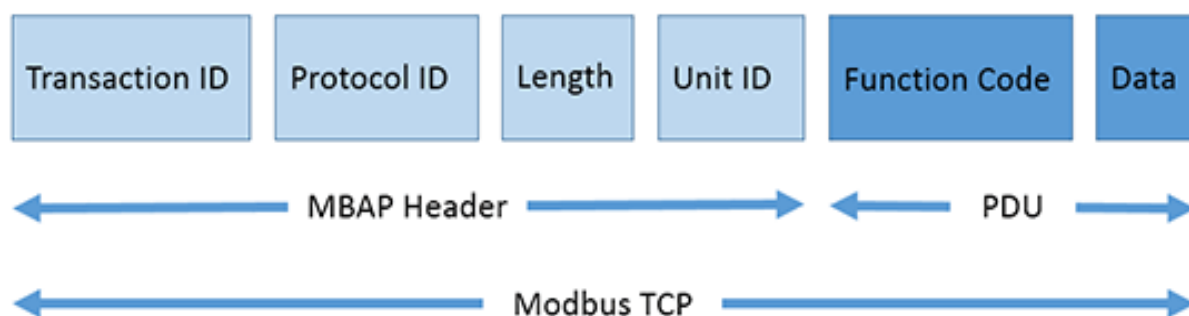


Рисунок 2.2 - Структура запиту Modbus TCP

Де:

- MBAP Header (Modbus Application Header): Заголовок Modbus;
- PDU (Protocol Data Unit): Блок даних протоколу;
- Transaction Identifier (Ідентифікатор транзакції): 2 байти, встановлюються Master, щоб однозначно ідентифікувати кожен запит. Можуть бути будь-якими. Ці байти повторюються пристроєм у відповіді, оскільки відповіді пристрою не завжди можуть бути отримані в тому ж порядку, що і запити;
- Protocol Identifier (Ідентифікатор протоколу): 2 байти встановлюються Master, завжди будуть рівні 00 00, що відповідає протоколу Modbus;

- Length (Довжина): 2 байти, встановлюються Master, що ідентифікують число байтів в повідомленні, які слідують далі. Рахується від Unit Identifier до кінця повідомлення;
- Unit Identifier (Ідентифікатор блоку або адреса пристрою): 1 байт встановлюється Master. Повторюється пристроєм для однозначної ідентифікації пристрою;
- Function Code: 1 байт, встановлюється Master, код функції Modbus;
- Data – змінної довжини, дані запиту.

* Master – ведучий пристрій, Slave – ведений пристрій

Таблиця 2.3 - Функції читання та запису Modbus TCP

Код функції	Опис функції		Тип значення	Тип доступу
01 (0x01)	Читання дискретного виводу	Read Coil Status	Дискретне	Читання
02 (0x02)	Читання дискретного входу	Read Input Status	Дискретне	Читання
03 (0x03)	Читання аналогового виводу	Read Holding Registers	16 бітне	Читання
04 (0x04)	Читання аналогового виводу	Read Input Registers	16 бітне	Читання
05 (0x05)	Запис одного дискретного виходу	Force Single Coil	Дискретне	Запис
06 (0x06)	Запис одного аналогового виходу	Preset Single Register	16 бітне	Запис
15 (0x0F)	Запис декількох дискретних виходів	Force Multiple Coils	Дискретне	Запис
16 (0x10)	Запис декількох аналогових виходів	Preset Multiple Registers	16 бітне	Запис

Таблиця 2.4 - Помилки Modbus TCP

Код	Опис
01	Прийнятий код функції не може бути оброблений.
02	Адреса даних, вказана в запиті, недоступна.
03	Значення, що міститься в полі даних запиту, є неприпустимою величиною.
04	Сталася невідновлювана помилка, поки ведений пристрій намагався виконати необхідну дію.
05	Ведений пристрій прийняв запит і обробляє його, але це вимагає багато часу. Ця відповідь оберігає Ведучий пристрій від генерації помилки тайм-ауту.
06	Ведений пристрій зайнятий обробкою команди. Ведучий пристрій повинен повторити повідомлення пізніше, коли ведений пристрій звільниться.
07	Ведений пристрій не може виконати програмну функцію, задану в запиті. Цей код повертається для неуспішного програмного запиту, що використовує функції з номерами 13 або 14. Ведучий пристрій повинен запросити інформацію про помилки від веденого.
08	Ведений пристрій при читанні розширеної пам'яті виявив помилку паритету. Ведучий пристрій може повторити запит, але зазвичай в таких випадках потрібен ремонт веденого пристрою.
10 (0A hex)	Шлюз неправильно налаштований або перевантажений запитами.
11 (0B hex)	Веденого пристрою немає в мережі або від нього немає відповіді.

2.4 Основні відомості про Node-RED

Node-RED - це інструмент програмування для з'єднання апаратних пристроїв, API та онлайн-сервісів новими та цікавими способами. Був

розроблений командою IBM Emerging Technology Services, а зараз є частиною JS Foundation.

Він надає редактор на основі браузера, який спрощує з'єднання потоків за допомогою широкого діапазону вузлів, які можна розгорнути в середовищі виконання одним натисканням клавіші.

Функції JavaScript можна створювати в редакторі за допомогою редактора тексту.

Вбудована бібліотека дозволяє зберігати корисні функції, шаблони або потоки для повторного використання.

Спрощене середовище виконання побудоване на Node.js, та використовує в повній мірі всі переваги своєї неблокуючої моделі, що керується подіями. Це робить його ідеальним для роботи на межі мережі на недорогому обладнанні, такому як Raspberry Pi, а також у хмарі(Хмарні технології – англ. Cloud Technology).

Маючи понад 225 000 модулів у репозиторії пакетів Node, можна легко розширити діапазон вузлів, щоб додати нові можливості.

Потоки, створені в Node-RED, зберігаються за допомогою JSON, який можна легко імпортувати та експортувати для спільного використання. Онлайн-бібліотека потоків дозволяє вам ділитися потоками.

2.4.1 Програмування на основі потоку

Винайдене Дж. Полем Моррісоном у 1970-х роках, потокове програмування - це спосіб описати поведінку програми як мережу чорних ящиків або "вузлів", як їх називають у Node-RED. Кожен вузол має чітко визначене призначення; йому даються деякі дані, він робить щось із цими даними, а потім передає ці дані. Мережа відповідає за потік даних між вузлами.

Це модель, яка дуже добре піддається візуальному представленню та робить її більш доступною для широкого кола користувачів. Якщо хтось може

розбити проблему на окремі кроки, він може поглянути на потік і зрозуміти, що він робить; без розуміння окремих рядків коду в кожному вузлі.

2.4.2 Виконання/редактор

Node-RED складається із середовища виконання на основі Node.js, на яке налаштовується веб-браузер для доступу до редактора потоку. У веб-переглядачі створюється програма шляхом перетягування вузлів з палітри на робочу область та їх з'єднання в мережу. Одним натисканням миші програма розгортається назад до середовища виконання, де вона запущена.

Палітру вузлів можна легко розширити, встановивши нові вузли, створені спільнотою розробників, а створені потоки можна легко поширити як файли JSON. Редактор потоків зображений на рис. 2.3.

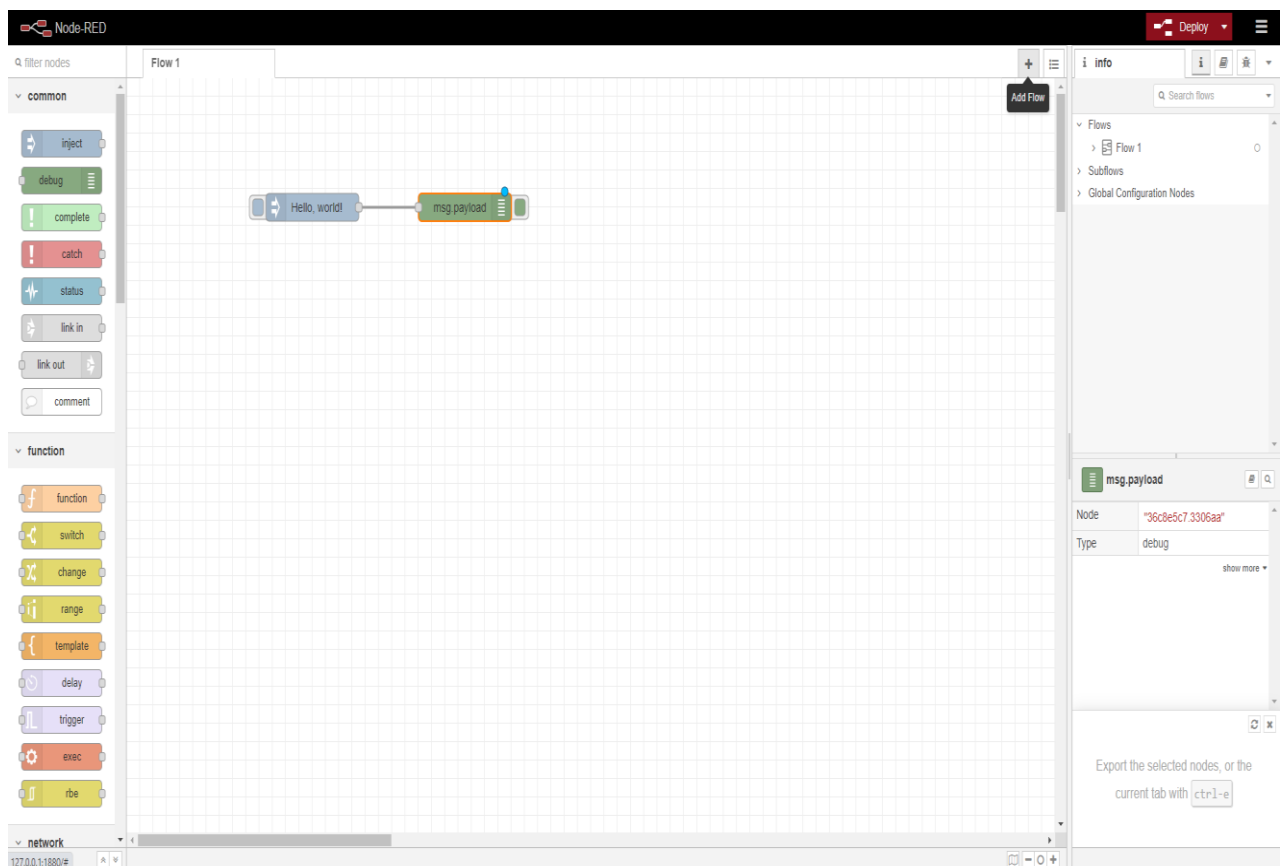


Рисунок 2.3 - Редактор потоків Node-RED

2.4.3 Історія

Node-RED розпочав своє життя на початку 2013 року як допоміжний проект Ніка О'Лірі та Дейва Конвей-Джонса з групи IBM Emerging Technology Services.

Те, що почалося як перевірка концепції для візуалізації та управління зв'язками між пристроями MQTT, швидко стало набагато більш загальним інструментом, який можна було легко розширити в будь-якому напрямку.

Node-RED був відкритий у вересні 2013 року і з тих пір розроблявся у відкритому режимі, завершившись тим, що він став одним із найбільш застосовуваних проектів Фонду JS у жовтні 2016 року.

Чому Node-RED називається Node-RED? Ця назва була легкою грою слів, що звучали як «Червоний код». Це назва прижилася і адже була набагато краща початкового варіанту. Частина 'Node' відображає як модель програмування потоку / вузла, так і базове середовище виконання Node.JS.

Так і немає згоди на рахунок того, що означає «RED» частина. Один з варіантів «Rapid Event Developer» (швидкий розробник подій).

2.4.4 Можливості Node-RED для роботи з протоколом передачі даних Modbus TCP

Для роботи з протоколом передачі даних Modbus потрібно встановити пакет вузлів – «node-red-contrib-modbus». Після встановлення в редакторі стануть доступні вузли Modbus. Вузли Modbus реалізують всі можливості протоколу.

Налаштування вузлів виконується досить просто. Наприклад, для підключення пристрою для зчитування потрібно спочатку налаштувати вузол «Modbus-client» потім налаштувати вузол зчитування Modbus Read вказавши невеликий перелік параметрів, відповідно до специфікації пристрою. Налаштування вузла зчитування протоколу Modbus TCP показані на рис. 2.4.

Рисунок 2.4 - Налаштування вузла зчитування протоколу Modbus TCP

2.5 Основний програмний функціонал ASP.NET

ASP.NET (Active Server Pages для .NET) - платформа розробки веб-додатків, у склад якої входить: веб-сервіси, програмна інфраструктура, модель програмування, від компанії Майкрософт. ASP.NET входить до складу платформ .NET Framework і є розвитком більш старих технологій Microsoft ASP.

ASP.NET зберігає схожість з більш старою технологією ASP, що дозволяє розробникам відносно легко перейти на ASP.NET. У той же час внутрішня реалізація ASP.NET істотно відрізняється від ASP, оскільки вона заснована на платформі .NET і, відповідно, використовує всі нові можливості, надані цією платформою.

Після випуску сервера Internet Information Services 4.0 у 1997 році компанія Microsoft почала досліджувати можливості нових моделей веб-додатків, які б прибрави проблеми ASP, особливо пов'язані з відділення оформлення від вмісту, що дозволяє писати «чистий» код.

ASP.NET базується на Common Language Runtime (CLR), що є основою всіх додатків Microsoft .NET, розробники можуть писати код для ASP.NET, використовуючи мови програмування, що знаходяться в комплекті .NET Framework (C #, Visual Basic.NET, J # и JScript .NET).

Програмна модель ASP.NET заснована на протоколі HTTP і використовує його правила взаємодії між сервером та браузером. При формуванні сторінок закладена абстрактна програмна модель Web Forms та на ній заснована основна частина реалізації програмного коду.

В ASP.NET підтримується кілька програмних моделей для створення веб-додатків:

- ASP.NET Web Forms - фреймворк для створення модульних веб-сторінок з компонентів з обробкою подій користувацького інтерфейсу на сторонній сервері;
- ASP.NET MVC - фреймворк для створення веб-сторінок із використанням шаблону проектування MVC;
- ASP.NET Web Pages - спрощений синтаксис для додавання динамічного коду та доступу до даних у HTML розмітках веб-сторінки;
- ASP.NET Web API - фреймворк для створення Web API поверх .NET Framework;
- ASP.NET WebHooks - реалізація шаблону Webhook для підписування на події та публікації подій через HTTP;
- SignalR - фреймворк для двонаправленого обміну повідомленнями в реальному часі між клієнтом і сервером.

Інші розширення ASP.NET:

- ASP.NET Handler - компоненти, реалізуючі інтерфейс IHttpHandler (System.Web). На відміну від сторінки ASP.NET у них немає файлу з HTML-розміткою, не підтримується обробка подій та інші вбудовані технології. Вони містять лише файл із програмним кодом, написаний на

будь-чкій із .NET-сумісних мов, який записує дані у відповідь HTTP. HTTP обробники схожі з ISAPI-розширеннями;

- ASP.NET AJAX - розширення, що містить як клієнтські, так і серверні компоненти для створення сторінок ASP.NET, реалізація функціональності AJAX;
- ASP.NET Dynamic Data - скаффолдингове розширення для створення керованих даними програм.

У ASP.NET для управління системною аутентифікацією користувачів на сайті було реалізовано механізм на основі Membership API, який представляє засоби для входу, зберігання та управління обліковими записами користувачів. Архітектура Membership API вибудована таким чином, що дозволяє керувати користувачами, що зберігаються в різних джерелах: Microsoft SQL Server, Microsoft Active Directory або спеціальне сховище (реалізоване самостійно, але тоді необхідно самостійно реалізувати репозиторій, щоб підключити його до спільної бази). В ASP.NET аутентифікація може здійснюватися за допомогою форм, або за допомогою Windows через IIS. Така реалізація забезпечує високий рівень безпеки та захисту даних системи та користувачів.

Висновки

Було розглянуто основи побудови систем збору та передачі інформації. Визначено основні вимоги до систем збору інформації.

Також було проаналізовано можливості пристрою релейного захисту ABB-REF615 та можливості технології Node-RED для збору інформації.

На основі отриманої інформації зроблено висновок про те, що можливо організувати збір режимної інформації з підстанції 35/10 кВ за допомогою підключення до пристрою релейного захисту ABB-REF615 з використанням технології Node-RED.

2 РОЗРОБКА ТА РЕАЛІЗАЦІЯ

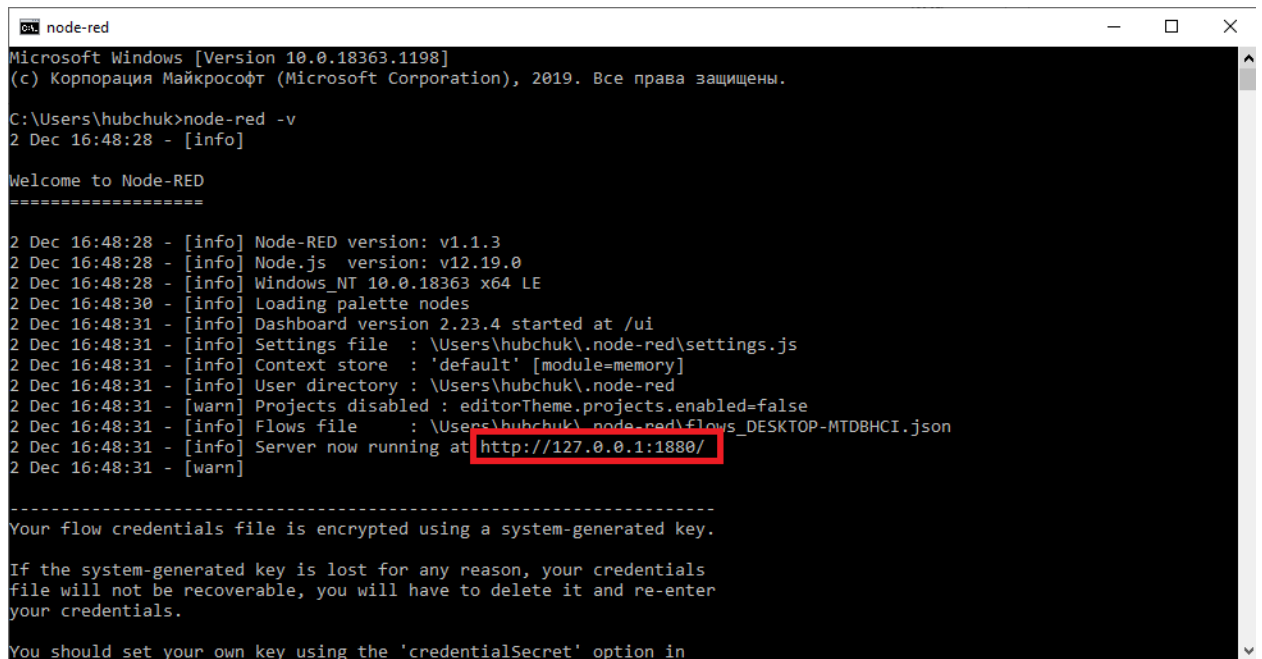
3.1 Розгортання Node-RED

Для початку роботи потрібно встановити Node-RED. Розгорнута інструкція по встановленню Node-RED наведена на офіційному сайті [9].

Після встановлення для запуску Node-RED необхідно запустити консоль та ввести команду:

```
node-red -v
```

Якщо все було виконано правильно, то в консолі не буде жодного повідомлення про помилку, а інформація про запуску буде виглядати подібно до приведеної на рис. 3.1.



```
node-red
Microsoft Windows [Version 10.0.18363.1198]
(c) Корпорация Майкрософт (Microsoft Corporation), 2019. Все права защищены.

C:\Users\hubchuk>node-red -v
2 Dec 16:48:28 - [info]
Welcome to Node-RED
=====
2 Dec 16:48:28 - [info] Node-RED version: v1.1.3
2 Dec 16:48:28 - [info] Node.js version: v12.19.0
2 Dec 16:48:28 - [info] Windows_NT 10.0.18363 x64 LE
2 Dec 16:48:30 - [info] Loading palette nodes
2 Dec 16:48:31 - [info] Dashboard version 2.23.4 started at /ui
2 Dec 16:48:31 - [info] Settings file : \Users\hubchuk\.node-red\settings.js
2 Dec 16:48:31 - [info] Context store : 'default' [module=memory]
2 Dec 16:48:31 - [info] User directory : \Users\hubchuk\.node-red
2 Dec 16:48:31 - [warn] Projects disabled : editorTheme.projects.enabled=false
2 Dec 16:48:31 - [info] Flows file : \Users\hubchuk\.node-red\flows_DESKTOP-MTDBHCI.json
2 Dec 16:48:31 - [info] Server now running at http://127.0.0.1:1880/
2 Dec 16:48:31 - [warn]

-----
Your flow credentials file is encrypted using a system-generated key.

If the system-generated key is lost for any reason, your credentials
file will not be recoverable, you will have to delete it and re-enter
your credentials.

You should set your own key using the 'credentialSecret' option in
```

Рисунок 3.1. Запуск Node-RED

У виведеній інформації (рис 3.1) також можна побачити посилання для запуску редактору потоків в браузері:

```
http://127.0.0.1:1880/
```

Для налаштування збору інформації необхідно також встановити додаткові пакети вузлів:

- Вузли для роботи з протоколом передачі даних Modbus «node-red-contrib-modbus» [11];
- Вузли для побудови інтерфейсу користувача «node-red-dashboard» [12];
- Вузли для підключення до БД MS SQL Server «node-red-contrib-mssql-plus».

Інструкція по встановленню та розробці додаткових вузлів описана на офіційному сайті [10]

3.2 Підключення до пристрою ABB REF615

Для підключення до будь-якого пристрою Modbus необхідно використовувати вузол «Modbus-Client» з пакету «node-red-contrib-modbus». Вузли пакету «node-red-contrib-modbus» представлені на рис 3.2.

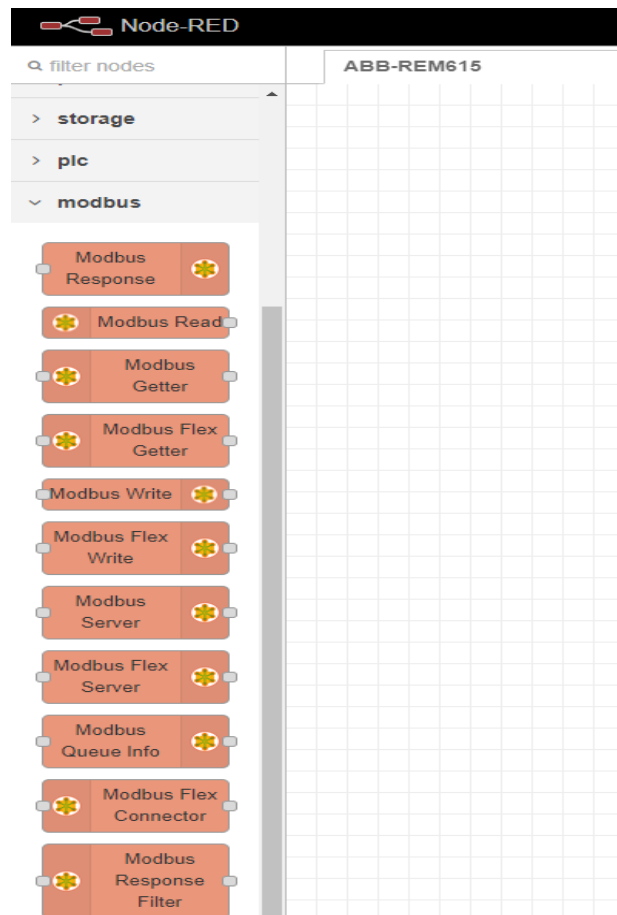


Рисунок 3.2 – Вузли пакету «node-red-contrib-modbus»

Налаштування вузла «Modbus-Client» зображені на рис. 3.3.

Edit Modbus-Read node > Edit modbus-client node

Delete Cancel Update

Properties

Name: modbus-tcp-client

Type: TCP

Host: 127.0.0.1

Port: 502

TCP Type: DEFAULT

Unit-Id: 1

Timeout (ms): 1000

Reconnect on timeout: ☒

Reconnect timeout (ms): 2000

UnitId's in parallel: ☒

Log states changes: ☐

Queue Logging: ☐

Queue commands: ☒

Queue delay (ms): 1

Рисунок 3.3 – Налаштування вузла «Modbus-Client»

Основні налаштування вузла «Modbus-Client» для протоколу Modbus TCP:

Host - IP-адреса пристрою, налаштовується в пристрої;

Port – порт TCP, налаштований в пристрої;

Unit-id – ідентифікатор пристрою;

Timeout – пауза підключення при запуску «поток»;

Reconnect – частота спроб повторного підключення при втраті зв'язку.

Вузол «Modbus-Client» налаштовується окремо для кожного пристрою в системі. Після налаштування цей вузол використовується у вузлах читання/запису Modbus.

3.2.1 Зчитування значень вимірювань з пристрою ABB REF615

Для зчитування вмісту регістрів пристрою потрібно використати вузол «Modbus-Read», налаштування вузла показані на рис. 3.4.

The screenshot shows the 'Edit Modbus-Read node' configuration window. At the top, there are buttons for 'Delete', 'Cancel', and 'Done'. Below this is a 'Properties' section with two tabs: 'Settings' and 'Optionals'. The 'Settings' tab is selected, displaying various configuration fields. The 'Name' field contains 'ABB-REF615 Current measurement'. The 'Topic' field contains 'Topic'. The 'Unit-Id' field is empty. The 'FC' field is a dropdown menu showing 'FC 1: Read Coil Status'. The 'Address' field contains '138'. The 'Quantity' field contains '3'. The 'Poll Rate' field has a value of '1' and a unit dropdown set to 'second(s)'. There is a 'Delay on start' checkbox which is unchecked. The 'Server' field is a dropdown menu showing 'modbus-tcp-client'.

Рисунок 3.4 – Налаштування вузла «Modbus-Read»

Основні налаштування:

FC – функція читання Modbus [8];

Adress – адреса початкового регістру для зчитування (від 0 до 65535);

Quantity – кількість регістрів для зчитування (від 1 до 65535);

Pool Rate – частота опитування пристрою;

Server – посилання на налаштований вузол «Modbus-Client».

У вузлі «Modbus-Read» (назва ABB-REF615 Current measurement) на рис 3.4 налаштовано зчитування інформації з регістрів №138, 139, 140. Відповідно до документації пристрою REF615 [7], в цих регістрах знаходяться значення амплітуди фазних струмів у відносних одиницях.

На виході вузла, буде масив з трьох чисел, в якому:

0 елемент – амплітуда струму фази А, вміст регістру №138;

1 елемент – амплітуда струму фази В, вміст регістру №139;

2 елемент – амплітуда струму фази С, вміст регістру №140;

Аналогічним чином налаштовано ще один вузол «Modbus-Read» (назва ABB-REF615 Voltage measurement), який зчитує значення регістрів №155, 156, 157 в яких, відповідно, до документації пристрою REF615 [7] знаходяться виміряні значення амплітуд лінійної напруги АВ, ВС, СА відповідно.

На виході вузла, буде масив з трьох чисел, в якому:

0 елемент – амплітуда лінійної напруги АВ, вміст регістру №155;

1 елемент – амплітуда лінійної напруги ВС, вміст регістру №156;

2 елемент – амплітуда лінійної напруги СА, вміст регістру №157;

В результаті в потоці буде налаштовано два вузли зчитування Modbus.

Загальний вигляд зображено на рис. 3.5.

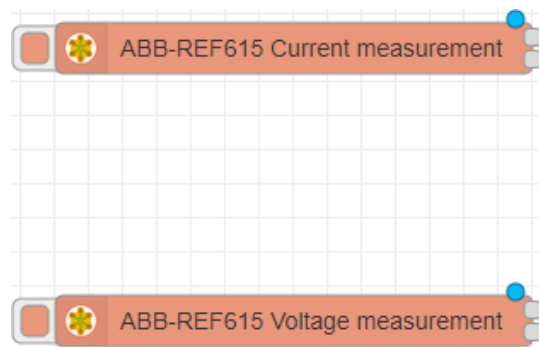


Рисунок 3.5 – Потік з двома налаштованими вузлами «Modbus-Read»

3.3 Попередня обробка даних

Попередня обробка даних може виконуватись за допомогою спеціальних вузлів та налаштувань деяких вузлів. Для попередньої обробки найчастіше використовується вузол «Function».

Вхідними і вихідними даними для цього вузла є об'єкт даних. В даному вузлі можна реалізувати будь-яку обробку виміряних значень за допомогою

мови програмування javascript. Наприклад, конвертацію в іменовані одиниці, з використанням коефіцієнтів трансформації BTC, які збережені в налаштуваннях пристрою релейного захисту (також можна зчитати з пристрою), чи порівняння вимірних значень з значеннями уставок.

Оскільки для подальшого збереження та візуалізації даних необхідно точно розуміти, яке значення зараз відображається. То виконаємо розділення масиву даних, зчитаного з реєстрів, за допомогою вузла «Function».

Налаштування блоку «Function» показані на рис. 3.6.

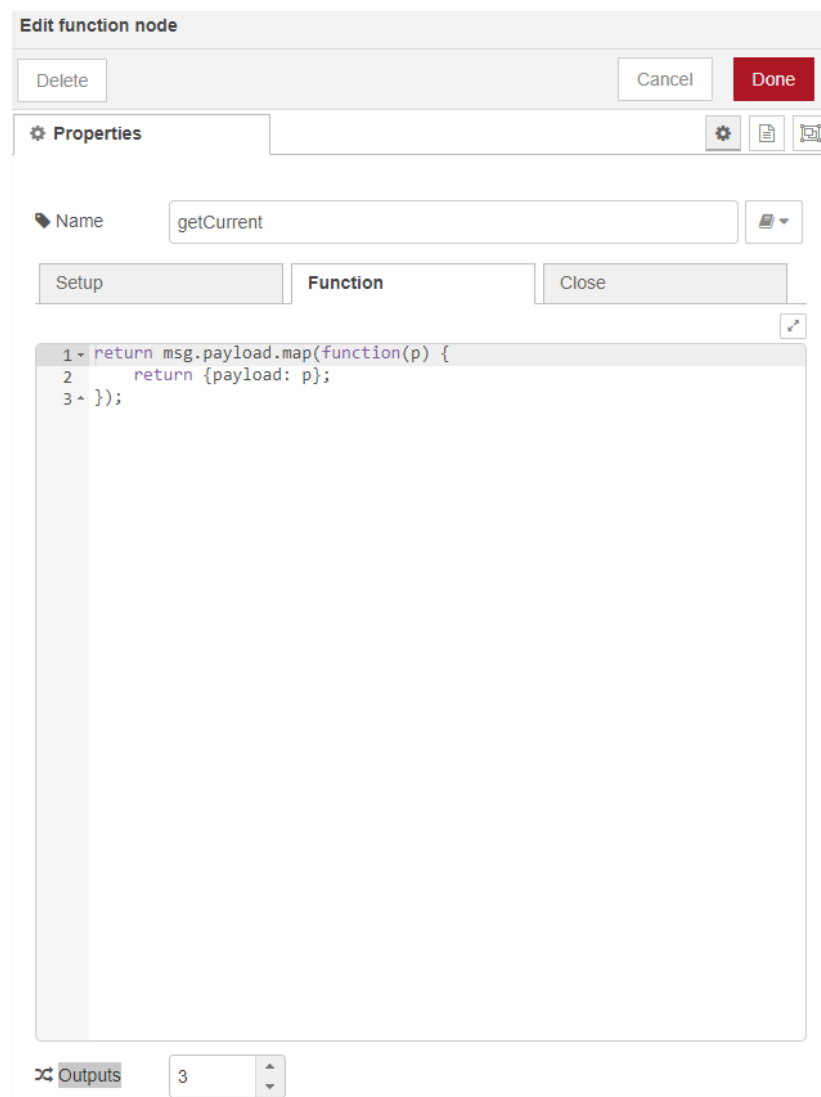


Рисунок 3.6 – Налаштування вузла «Function»

Використовуючи мову програмування javascript, конвертуємо масив числових значень в масив об'єктів-повідомлень з полем «payload» для подальшого виводу:

```

return msg.payload.map(function(p) {
    return {payload: p};
});

```

Розділимо масив об'єктів на окремі елементи за допомогою налаштування кількості виводів - «Outputs». Кількість виводів буде дорівнювати кількості елементів в масиві.

Тобто для вузлів зчитування вимірів струму та напруги кількість виводів буде рівна трьом, тому що інформація зчитувалась з трьох регістрів.

В першому виводі буде значення першого регістру (№138 для струму та №155 для напруги), в другому другого і так далі.

Вигляд потоку після підключення вузлів «Function» зображений на рис. 3.7.

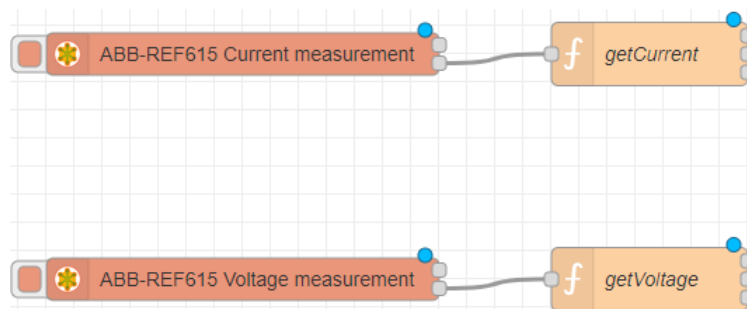


Рисунок 3.7 – Потік з підключеними вузлами «Function»

3.4 Візуалізація даних

Для побудови інтерфейсу користувача використано пакет вузлів «node-red-dashboard».

Найпопулярнішим вузлом пакету є вузол «Chart», який послідовно виводить на графік кожне значення, що надходить з потоку, та надає можливість виконувати всі стандартні налаштування графіків та діаграм.

Повний перелік вузлів пакету наведено на рис. 3.8.



Рисунок 3.8 – перелік вузлів пакету «node-red-dashboard»

Щоб вивести значення вимірів на графіки використаємо шість вузлів «Chart», налаштуємо та підключимо для виводу кожного виміру окремо.

Потік після налаштування вузлів «Chart» зображений на рис. 3.9.

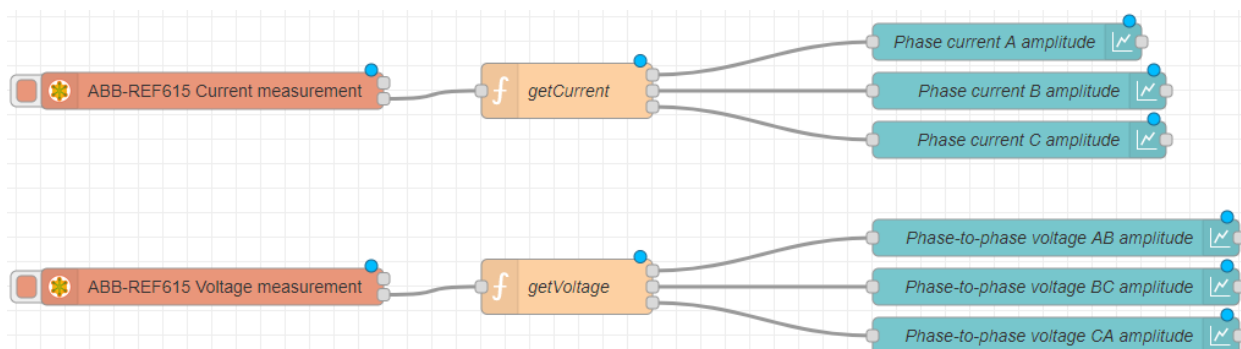


Рисунок 3.9 – Потік з налаштованими вузлами «Chart»

3.5 Збереження в базу даних

3.5.1 Опис бази даних

Для збереження вимірів використовується СУБД Microsoft SQL Server.

База даних вимірів складається з чотирьох таблиць:

MEASUREMENT_TYPE – тип вимірювань.

MEASUREMENT – значення вимірювань.

DEVICE_TYPE – тип пристрою.

DEVICE – пристрій.

Структури таблиць наведені в табл. 3.1-3.4.

Таблиця 3.1 - Структура таблиці MEASUREMENT_TYPE

Ім'я колонки	Тип даних	Опис
ID	int	Унікальний ідентифікатор
NAME	varchar(255)	Ім'я типу вимірювань
UNIT	varchar(10)	Одиниця виміру

Таблиця 3.2 - Структура таблиці MEASUREMENT

Ім'я колонки	Тип даних	Опис
ID	int	Унікальний ідентифікатор
DEVICE_ID	int	Унікальний ідентифікатор пристрою
MESUREMENT_TYPE_ID	int	Унікальний ідентифікатор типу вимірювань
VALUE	numeric(10, 6)	Значення виміру
DATETIME	datetime	Дата час виміру

Таблиця 3.3 - Структура таблиці DEVICE_TYPE

Ім'я колонки	Тип даних	Опис
ID	int	Унікальний ідентифікатор
NAME	varchar(254)	Ім'я типу пристроїв

Таблиця 3.4 - Структура таблиці DEVICE

Ім'я колонки	Тип даних	Опис
ID	int	Унікальний ідентифікатор
NAME	varchar(254)	Ім'я пристрою
DEVICE_TYPE_ID	int	Унікальний ідентифікатор типу пристроїв

Діаграма бази даних вимірювань зображена на рис. 3.10.

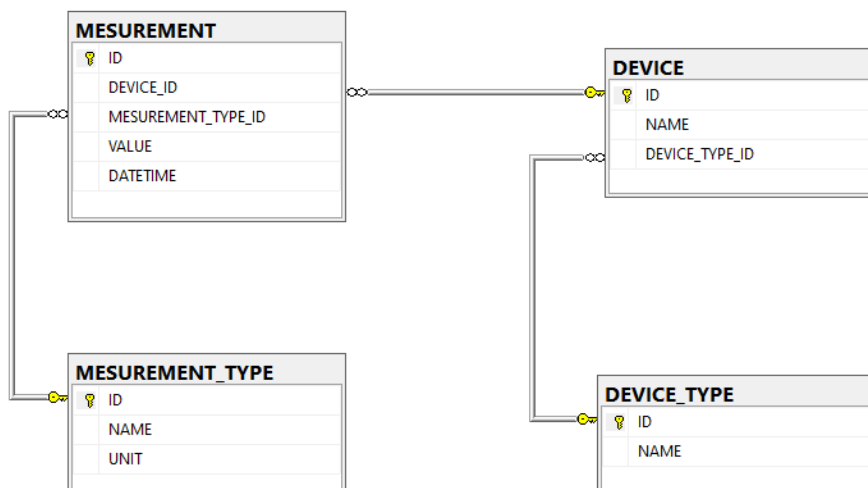


Рисунок 3.10 – Діаграма бази даних вимірювань

3.5.2 Збереження даних з Node-RED

Для підключення до БД MS SQL Server використовується пакет вузлів «node-red-contrib-mssql-plus». В пакеті всього два вузли.

Вузол «MSSQL-CN» використовується для налаштування підключення до БД. Налаштування вузла показані на рис 3.11.

Properties

Name: DB_MEASUREMENT

Server: Server name or IP

Port: Port

Username:

Password:

Domain:

Database: MEASUREMENT

TDS Version: 7_4 (SQL Server 2012 ~ 2019)

Use Encryption? ☒

SQL Databases hosted on Azure will need this checked

Assume UTC? ☒

Pass time values in UTC or local time.

Connect Timeout: 15000

The number of milliseconds before the attempt to connect is considered failed.

Request Timeout: 15000

The number of milliseconds before a request is considered failed, or 0 for no timeout.

Рисунок 3.11 – Налаштування вузла «MSSQL-CN»

Server – ім'я або ip-адреса сервера SQL;

Port – порт;

Username – логін користувача SQL;

Password – пароль користувача SQL;

Database – ім'я БД.

Вузол «MSSQL» використовується для створення запитів до БД.

Налаштування вузла представлені на рис. 3.12.

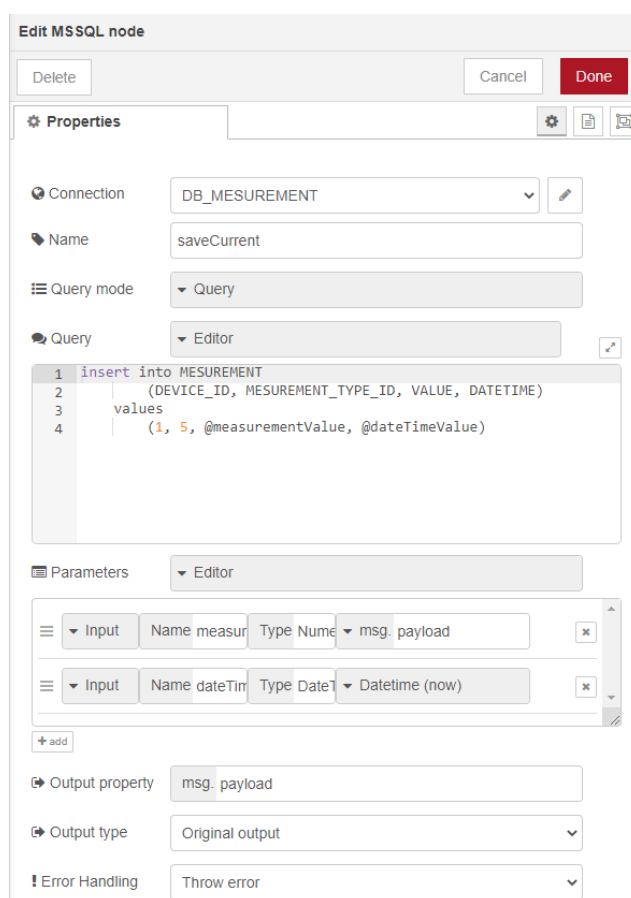


Рисунок 3.12 – Налаштування вузла «MSSQL»

У вузлі налаштовується параметр «Connection» – посилання на вузол «MSSQL-CN» та створюється запит з використанням SQL.

Запит на збереження значення струму фази А виглядає наступним чином:

```
insert into MEASUREMENT
```

```
(DEVICE_ID, MEASUREMENT_TYPE_ID, VALUE, DATETIME)
values
(1, 5, @measurementValue, @dateTimeValue)
```

В запиті виконується вставка даних в таблицю вимірів (MEASUREMENT) з такими значеннями:

1 – Унікальний ідентифікатор пристрою ABB REF-615 з таблиці приладів (DEVICE);

5 – Унікальний ідентифікатор типу виміру з таблиці типів вимірів (MEASUREMENT_TYPE);

@measurementValue – параметр з значенням виміру, який зчитано з пристрою;

@dateTimeValue – параметр з значенням поточної дати та часу;

Аналогічним чином налаштовано збереження всіх вимірів. Потік після налаштування збереження в БД зображений на рис. 3.13.

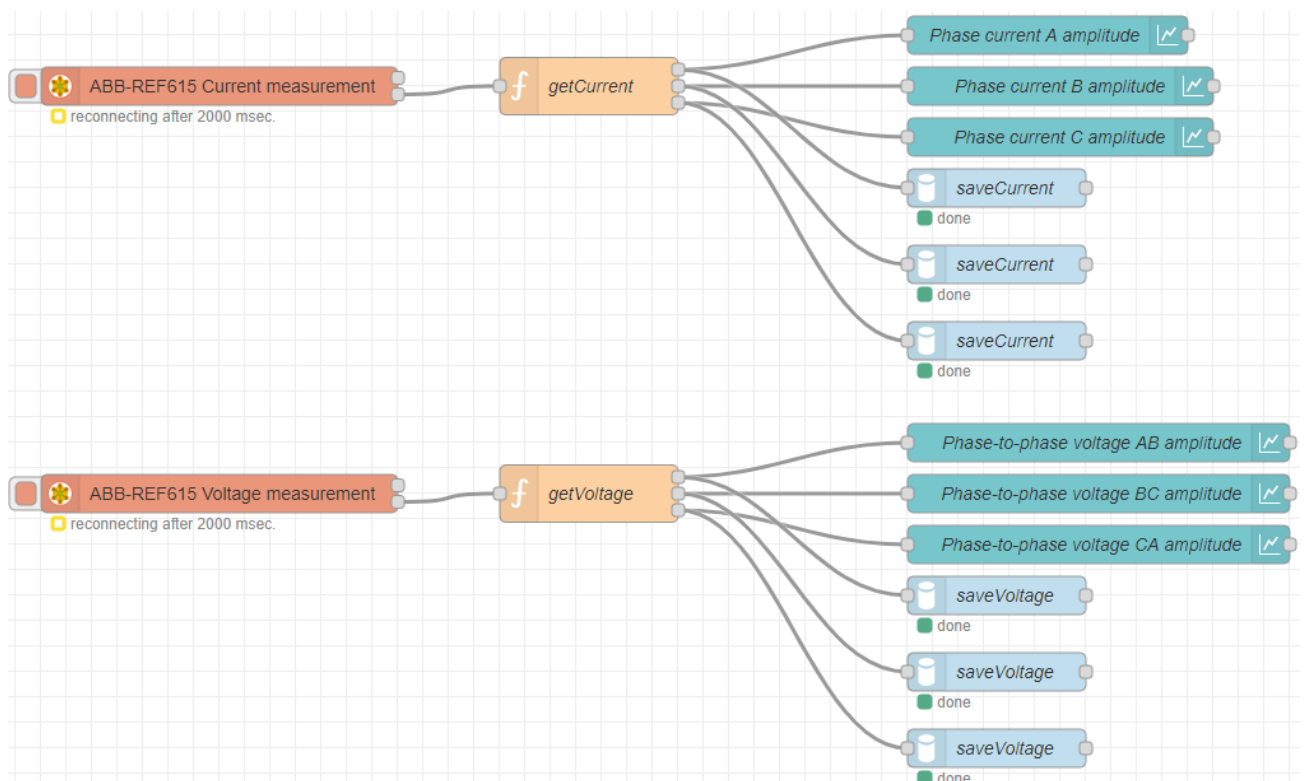


Рисунок 3.13 – Потік з налаштованим збереженням в БД

3.5.2 Аналіз даних

Дані вимірювань зберігаються в БД MS SQL Server. Для вибірки даних використовується SQL (англ. structured query language — «мова структурованих запитів»).

За допомогою SQL побудовано запити для аналізу даних вимірювань.

Відображення даних виконана за допомогою Node-RED.

Приклад SQL-запиту для відображення вимірів пристроїв всіх типів за певну дату (Sql-запити наведені в додатку Б):

```
select
    DEVICE_TYPE.NAME as DEVICE_TYPE_NAME,
    DEVICE.NAME as DEVICE_NAME,
    MEASUREMENT_TYPE.NAME as MEASUREMENT_TYPE_NAME,
    MEASUREMENT_TYPE.UNIT,
    MEASUREMENT.VALUE,
    MEASUREMENT.DATETIME
from DEVICE_TYPE
    join DEVICE on DEVICE_TYPE.ID = DEVICE.DEVICE_TYPE_ID
    join MEASUREMENT on DEVICE.ID = MEASUREMENT.DEVICE_ID
    join MEASUREMENT_TYPE on MEASUREMENT_TYPE.ID =
MEASUREMENT.MEASUREMENT_TYPE_ID
where
    MEASUREMENT.DATETIME >= '20201208'
```

Структура результату SQL-запиту описана в табл. 3.5. Результатом запиту буде таблиця.

Таблиця 3.5 – Структура результату SQL-запиту

Ім'я колонки	Тип даних	Опис
DEVICE_TYPE_NAME	varchar(254)	Ім'я типу пристроїв
DEVICE_NAME	varchar(254)	Ім'я типу пристрою
MEASUREMENT_TYPE_NAME	varchar(254)	Ім'я типу вимірювань
UNIT	varchar(10)	Одиниця виміру
VALUE	numeric(10, 6)	Значення виміру
DATETIME	datetime	Дата час виміру

Приклад результату SQL-запиту наведено в табл. 3.6.

Таблиця 3.6 – Результат SQL-запиту

DEVICE_TYPE_NAME	DEVICE_NAME	MESUREMENT_TYPE_NAME	UNIT	VALUE	DATETIME
ABB-REF615	ABB-REF615-1	Phase current amplitude A (r.u.)	r.u.	0.190000	2020-12-08 18:58:02.143
ABB-REF615	ABB-REF615-1	Phase current amplitude B (r.u.)	r.u.	0.210000	2020-12-08 18:58:02.147
ABB-REF615	ABB-REF615-1	Phase current amplitude C (r.u.)	r.u.	0.180000	2020-12-08 18:58:02.147
ABB-REF615	ABB-REF615-1	Phase current amplitude A (r.u.)	r.u.	0.280000	2020-12-08 18:58:05.743
ABB-REF615	ABB-REF615-1	Phase current amplitude B (r.u.)	r.u.	0.290000	2020-12-08 18:58:05.743
ABB-REF615	ABB-REF615-1	Phase current amplitude C (r.u.)	r.u.	0.280000	2020-12-08 18:58:05.743
ABB-REF615	ABB-REF615-1	Phase current amplitude A (r.u.)	r.u.	0.380000	2020-12-08 18:58:15.747
ABB-REF615	ABB-REF615-1	Phase current amplitude B (r.u.)	r.u.	0.410000	2020-12-08 18:58:15.747
ABB-REF615	ABB-REF615-1	Phase current amplitude C (r.u.)	r.u.	0.390000	2020-12-08 18:58:15.747
ABB-REF615	ABB-REF615-1	Phase current amplitude A (r.u.)	r.u.	0.480000	2020-12-08 18:58:25.747
ABB-REF615	ABB-REF615-1	Phase current amplitude B (r.u.)	r.u.	0.500000	2020-12-08 18:58:25.747
ABB-REF615	ABB-REF615-1	Phase current amplitude C (r.u.)	r.u.	0.510000	2020-12-08 18:58:25.747
ABB-REF615	ABB-REF615-1	Phase current amplitude A (r.u.)	r.u.	0.580000	2020-12-08 18:58:35.747
ABB-REF615	ABB-REF615-1	Phase current amplitude B (r.u.)	r.u.	0.590000	2020-12-08 18:58:35.750
ABB-REF615	ABB-REF615-1	Phase current amplitude C (r.u.)	r.u.	0.580000	2020-12-08 18:58:35.750
ABB-REF615	ABB-REF615-1	Phase current amplitude B (r.u.)	r.u.	0.710000	2020-12-08 18:58:45.747
ABB-REF615	ABB-REF615-1	Phase current amplitude A (r.u.)	r.u.	0.690000	2020-12-08 18:58:45.747
ABB-REF615	ABB-REF615-1	Phase current amplitude C (r.u.)	r.u.	0.700000	2020-12-08 18:58:45.750
ABB-REF615	ABB-REF615-1	Phase current amplitude A (r.u.)	r.u.	0.790000	2020-12-08 18:58:55.747
ABB-REF615	ABB-REF615-1	Phase current amplitude C (r.u.)	r.u.	0.780000	2020-12-08 18:58:55.747
ABB-REF615	ABB-REF615-1	Phase current amplitude B (r.u.)	r.u.	0.790000	2020-12-08 18:58:55.747
ABB-REF615	ABB-REF615-1	Phase current amplitude A (r.u.)	r.u.	0.890000	2020-12-08 18:59:05.747
ABB-REF615	ABB-REF615-1	Phase current amplitude B (r.u.)	r.u.	0.910000	2020-12-08 18:59:05.747

Приклад відображення результатів наведено на рис. 3.14-3.16.

Налаштування

Типи вимірювань Phase current amplitude A (kA) , Phase current amplitude B (...)

Виберіть дату 08/12/2020

Результати

Ім'я пристрою	Тип вимірювань	Одиниці вимірювання	Значення	Дата та час
ABB-REF615-1	Phase current amplitude A (kA)	kA	114	2020-12-08T18:58:02.143Z
ABB-REF615-1	Phase current amplitude A (kA)	kA	168	2020-12-08T18:58:05.743Z
ABB-REF615-1	Phase current amplitude A (kA)	kA	228	2020-12-08T18:58:15.747Z
ABB-REF615-1	Phase current amplitude A (kA)	kA	288	2020-12-08T18:58:25.747Z
ABB-REF615-1	Phase current amplitude A (kA)	kA	348	2020-12-08T18:58:35.747Z
ABB-REF615-1	Phase current amplitude A (kA)	kA	414	2020-12-08T18:58:45.747Z
ABB-REF615-1	Phase current amplitude A (kA)	kA	474	2020-12-08T18:58:55.747Z
ABB-REF615-1	Phase current amplitude A (kA)	kA	534	2020-12-08T18:59:05.747Z
ABB-REF615-1	Phase current amplitude A (kA)	kA	606	2020-12-08T18:59:15.750Z
ABB-REF615-1	Phase current amplitude B (kA)	kA	612	2020-12-08T18:59:15.750Z
ABB-REF615-1	Phase current amplitude B (kA)	kA	546	2020-12-08T18:59:05.747Z
ABB-REF615-1	Phase current amplitude B (kA)	kA	426	2020-12-08T18:58:45.747Z
ABB-REF615-1	Phase current amplitude B (kA)	kA	474	2020-12-08T18:58:55.747Z
ABB-REF615-1	Phase current amplitude B (kA)	kA	354	2020-12-08T18:58:35.750Z
ABB-REF615-1	Phase current amplitude B (kA)	kA	300	2020-12-08T18:58:25.747Z
ABB-REF615-1	Phase current amplitude B (kA)	kA	246	2020-12-08T18:58:15.747Z
ABB-REF615-1	Phase current amplitude B (kA)	kA	174	2020-12-08T18:58:05.743Z
ABB-REF615-1	Phase current amplitude B (kA)	kA	126	2020-12-08T18:58:02.147Z
ABB-REF615-1	Phase current amplitude C (kA)	kA	108	2020-12-08T18:58:02.147Z
ABB-REF615-1	Phase current amplitude C (kA)	kA	168	2020-12-08T18:58:05.743Z
ABB-REF615-1	Phase current amplitude C (kA)	kA	234	2020-12-08T18:58:15.747Z
ABB-REF615-1	Phase current amplitude C (kA)	kA	306	2020-12-08T18:58:25.747Z
ABB-REF615-1	Phase current amplitude C (kA)	kA	348	2020-12-08T18:58:35.750Z
ABB-REF615-1	Phase current amplitude C (kA)	kA	420	2020-12-08T18:58:45.750Z
ABB-REF615-1	Phase current amplitude C (kA)	kA	468	2020-12-08T18:58:55.747Z

Рисунок 3.14 – Відображення вибірки вимірювань

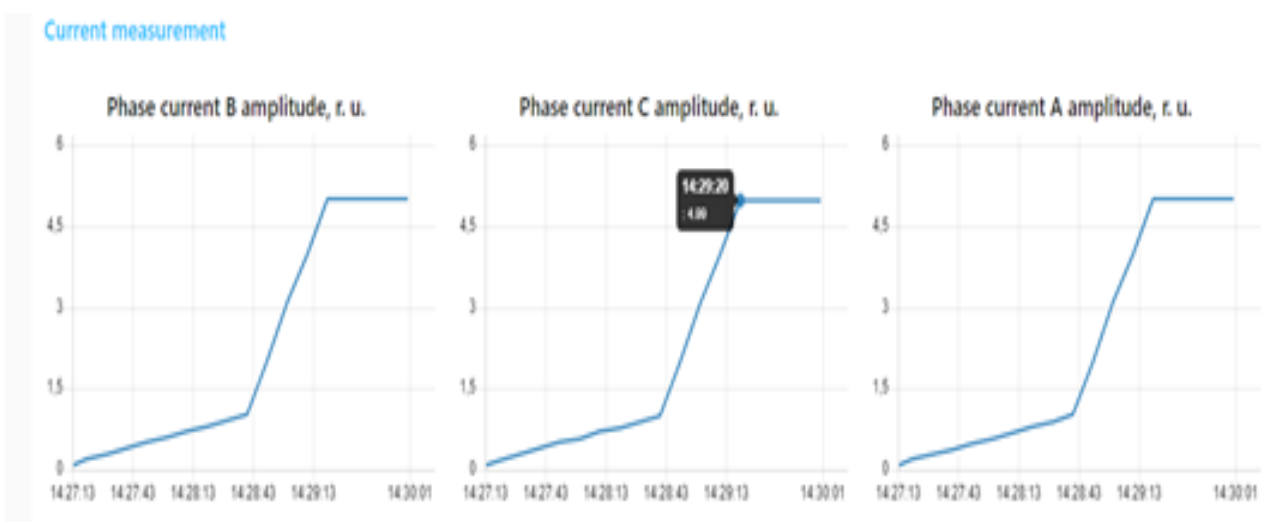


Рисунок 3.15 – Відображення значень струму в реальному часі у в.о.

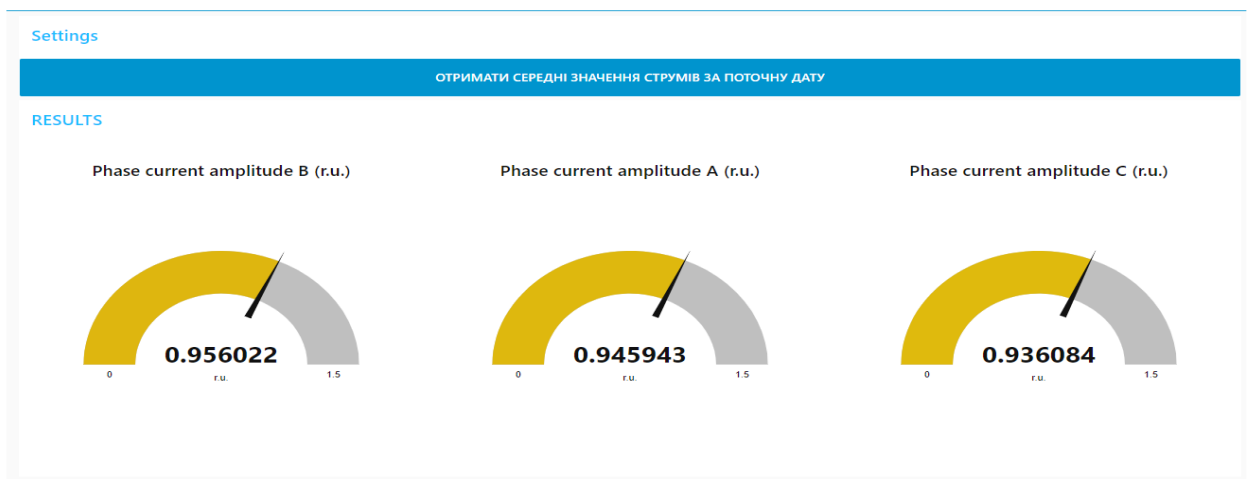


Рисунок 3.16 – Відображення середніх значень струму у в.о.

Висновки

В третьому розділі на основі інформації, яка була отримана в першому та другому розділах виконано налаштування підключення до пристрою релейного захисту ABB-REF615 по мережі Ethernet та організовано збір вимірювань фазних струмів та лінійної напруги з використанням Node-RED. Реалізовано вивід вимірювань на графіки.

Також було спроектовано базу даних вимірювань з використанням СУБД MS SQL Server та налаштовано збереження даних та відображення збережених даних за допомогою технології Node-RED.

Побудований програмний механізм збору та збереження режимних даних може бути застосований в будь-якій енергосистемі для підключення до пристроїв релейного захисту.

4 ВИВЕДЕННЯ НА РИНОК СИСТЕМИ ЗБОРУ І ПЕРЕДАЧІ ІНФОРМАЦІЇ НА ОСНОВІ ТЕХНОЛОГІЇ NODE- RED

Мета розділу: Проаналізувати можливість виводу на ринок системи (програмного продукту) збору та передачі режимної інформації електричних підстанцій.

Предмет дослідження: Система збору та передачі інформації побудована на основі технології Node-RED

4.1 Опис ідеї проекту

На сьогоднішній день трендом в промисловості є промисловий інтернет речей - ІоТ (англ. - industrial internet of things). Система ІоТ включає в себе такі основні складові:

- Інтелектуальні активи, які можуть сприймати, передавати і зберігати інформацію про себе;
- Загальнодоступна або/і приватно інфраструктура передачі даних;
- Аналітика і додатки що генерують бізнес-інформацію з необроблених даних;
- Люди.

В розрізі енергетики інтелектуальними активами є мікропроцесорні пристрої, що використовуються для вимірювань чи в релейному захисті. Інфраструктура передачі даних – це мережі зв'язку, що використовуються в електричних мережах.

Завданням стартап-проекту є надання зручного інструменту для побудови/обробки потоків інформації а також простого механізму для побудови/підключення аналітичних додатків.

Проект, забезпечує можливість універсального налаштування зв'язку інтелектуальних активів з використанням інфраструктури передачі даних і надає входи для генерації бізнес-інформації в енергетиці.

Зміст ідеї, напрямки застосування, та вигоди для користувачів представлені в табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Опис ідеї проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Виведення на ринок програмного продукту для збору та передачі режимної інформації електричних підстанцій на основі технології Node-RED	1. Побудова потоків збору інформації 2. Налаштування автоматичного віддаленого збору інформації та віддаленого управління 3. Статистичний аналіз даних, реєстрація подій	1. Зручний інтерфейс 2. Простота налаштування 3. Надійність 4. Після запуску система може працювати в повністю автоматичному режимі

Для практичного застосування проект має забезпечувати кращі техніко-економічні показники, ніж продукти конкурентів. Аналіз сильних та слабких сторін проект в порівнянні з конкурентами приведено в табл. 4.2.

Таблиця 4.2 - Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

№	Техніко-економічні характеристики ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів			W (слабка сторона)	N (нейтральна сторона)	S (сильна сторона)
		Проект	Пот IT-Enterprise	SCADA ABB			
1.	Капітальні витрати млн. \$	2	6	4	Пот IT-Enterprise	SCADA ABB	Проект

Продовження таблиці 4.2

№	Техніко-економічні характеристики ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів			W (слабка сторона)	N (нейтральна сторона)	S (сильна сторона)
		Проект	Пот IT-Enterprise	SCADA ABB			
2.	Час введення в експлуатацію, год	240	320	480	SCADA ABB	Пот IT-Enterprise	Проект
3.	Час навчання персоналу для роботи в системі (на одну особу)	12	44	56	SCADA ABB	Пот IT-Enterprise	Проект
4.	Універсальність платформи	Універсальна	Універсальна	під пристрої РЗА ABB	SCADA ABB	-	Проект, Пот IT-Enterprise
5	Розробка додатків на стороні замовника	Потрібна	По бажанню замовника	Не потрібна	Проект	-	Пот IT-Enterprise, SCADA ABB

Як можна побачити з табл. 4.2, сильними сторонами проекту є 4 з 5 пунктів, а слабкими 1 з 5, з чого можна зробити висновок про конкурентоспроможність проекту.

Однією з переваг стартап-проекту є універсальність. На ринку програмного забезпечення є подібні проекти, які, в основному, розроблялися під конкретні пристрої або протоколи передачі даних. Об'єкт стартап-проекту – буде створюватися без прив'язки до конкретних продуктів, тому підключення до пристроїв компаній ABB, Siemens, Schneider Electric та інших буде реалізуватися однаково.

Реалізація ідеї проекту забезпечить можливість створити потік даних, починаючи від мікропроцесорних пристроїв до бази даних, включаючи первинну обробку даних. Причому потік даних можна буде створити таким чином, що він не буде орієнтований на конкретну архітектуру

мікропроцесорних пристроїв, протокол передачі даних, та базу даних для зберігання інформації.

4.2 Технологічний аудит ідеї проекту

Технологічний аудит ідеї проекту дає змогу проаналізувати такі складові:

- Технологію реалізації;
- Аналіз наявних технологій;
- Доступність технологій;

Результати проведеного технічного аудиту проекту подані в табл. 4.3.

Таблиця 4.3 – Технологічна здійсненність ідеї проекту

№ п/п	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1	Система збору та передачі інформації	1. Підключення до пристроїв РЗА - Node-RED - SCADA	наявні	доступні
2		2. Обробка потоку інформації пристроїв РЗА - Node-RED	наявні	доступні
3		3. Візуалізація первинних/оброблених даних - Node-RED - ASP.NET Core - Vue.js	наявні	доступні
4		4. Збереження та резервне копіювання даних - ASP.NET Core - MS SQL Server	наявні	доступні

Продовження таблиці 4.3

№ п/п	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
5	Система збору та передачі інформації	5. Аналіз даних - ASP.NET Core - MS SQL Server	наявні	доступні
Обрані технології реалізації ідеї проекту, згідно пунктів 1, 2, 3, 4, 5: Node-RED, ASP.NET Core, Vue.js, MS SQL Server, Cassandra DB				

4.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Визначення ринкових можливостей проекту та потенційних загроз надає змогу визначити напрямки розвитку проекту. Причому напрямки розвитку потрібно визначати відповідно до стану ринкового середовища потреб клієнтів та пропозицій конкурентів.

Аналіз попиту, наявність попиту, обсяг, динаміка розвитку ринку приведені в табл. 4.4.

Таблиця 4.4 – Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№ п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	Більше 6 і зростає
2	Загальний обсяг продаж, млрд. дол./рік	1,14 і зростає
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає

Продовження таблиці 4.4

№ п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
4	Наявність обмежень для входу	Законодавчі обмеження, недосконалий механізм державного регулювання діяльності в ІТ-сфері, зростаючий рівень конкуренції
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Зростають
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	12%

Заключним етапом аналізу ринкових можливостей впровадження проекту є виконання SWOT-аналізу (матриці аналізу сильних (Strength) та слабких (Weak) сторін, можливостей (Opportunities) та загроз (Troubles)).

По даних SWOT-аналізу визначаються альтернативні моделі поведінку на ринку для проекту. SWOT-аналіз проекту представлений в табл. 4.5.

Таблиця 4.5 – SWOT-аналіз стартап-проекту

Сильні сторони: <ul style="list-style-type: none"> - Відносно низькі затрати на реалізацію проекту; - Стабільний прибуток; - Простота підтримки проекту; - Використання існуючих та легкодоступних технологій; 	Слабкі сторони: <ul style="list-style-type: none"> - Необхідність навчання персоналу; - Необхідність розробки сторонніх додатків для специфічних завдань;
---	--

Продовження таблиці 4.5

Можливості: <ul style="list-style-type: none">- Розвиток системи збору інформації, додавання нових модулів;- Вихід на ринок приватних споживачів	Загрози: <ul style="list-style-type: none">- Зростання конкуренції на ринку;
--	---

Висновки

В результаті проведеного технологічного аудиту ідеї проекту було проаналізовано та визначено технології реалізації проекту (з використанням існуючих технологій) а також проведена оцінка їх доступності.

За результатами аналізу ринку стартап-проекту зрозуміло, що кількість продажів на ринку зростає, але в той же час і зростає кількість конкурентів.

Після проведення SWOT-аналізу проекту було виявлено, що основною загрозою для проекту є зростаюча кількість конкурентів.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ ПІД ЧАС ЕКСПЛУАТАЦІЇ РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ ПІДСТАНЦІЇ

Мета розділу: Розробити заходи для зменшення впливу шкідливих та небезпечних факторів, які виникають під час експлуатації релейного захисту підстанції.

Предмет дослідження: Підстанція «Артемівська» 35/10 кВ

5.1 Технічні характеристики та місце розміщення підстанції

Об'єкт – підстанція 35/10 кВ «Артемівська», яка знаходиться в м. Київ (перша кліматична зона) та має загальну площу 687,5 м².

До підстанції підключено дві лінії напругою 35 кВ – «Жовтнева» (загальна довжина 5.7 км) та «Кабельна» (загальна довжина 10.1 км). Обидві лінії включають в себе ділянки різного виконання (повітря/кабель). та довжини.

Шини 10 кВ підключені через два трансформатори:

- ТД– 5000/35.5/11;
- ТДН–15000/35/10.5;

Кожен трансформатор підключено через вимикач ВМП-10-1000-20.

Секціонування шин 10 кВ виконано вимикачем ВМП–10П. Загалом до шин 10 кВ підключено 28 приєднань. Кожне приєднання обладнане:

- Вимикачем ВМП - 10;
- Ооз'єднувачем РШ-10/600;
- ВТС ТВЛМ-10/400 (ТВЛМ-10/200, ТВЛМ-10/1000, ТВЛМ-10/300);

Для вимірювання напруги на шинах 35 і 10 кВ встановлені ВТН.

Загальна характеристика об'єкту наведена в табл. 5.1.

Таблиця 5.1. Загальна характеристика об'єкту

Найменування ЕУ	Вид розміщення	Розміщення робочого місця	Категорія електроприміщення	Категорія з пожежної безпеки
Трансформаторна підстанція	Внутрішня ЕУ	Окреме приміщення на поверхні землі (25x27,5x4) м	Приміщення з підвищеною небезпекою	Категорія Д

Основні технічні характеристики ЕУ об'єкту наведені в табл. 5.2

Таблиця 5.2 – Показники технічних характеристик ЕУ

Найменування ЕУ і марка	Основні характеристики	Числове значення
Пристрій релейного захисту АВВ REF 615	Номінальна контролююча фазна напруга	100 В
	Максимальна контролююча фазна напруга	110 В
	Споживаюча потужність	<8,4 Вт
	Споживаючий струм	220 мА
	Частота мережі	50, 60 Гц \pm 5 Гц
	Габарити	177x177x155 мм
	Маса	3,5 кг

5.2 Визначення обсягів та послідовності робіт у ході експлуатації або під час модернізації енергетичного об'єкту

Таблиця 5.3 – Обсяг робіт при обслуговуванні релейного захисту

Вид роботи	Спосіб доставки і розгрузки	Період і тривалість виконання робіт	Кількісний склад бригади	Група з електробезпеки
Обслуговування/ремонт/заміна релейного захисту	Вручну	Впродовж усього року, 2 дні	3 особи	IV або вища

5.3 Визначення та оцінка показників умов праці на робочих місцях

Чинники та показники умов праці при технічному обслуговуванні або ремонті пристроїв РЗА наведено в табл. 5.4.

Таблиця 5.4 – Чинники та показники умов праці

Найменування чинника	Основні характеристики	Числове значення
Параметри мікроклімату	Температура повітря	(19...21) °C
	Вологість	(60...40) %
	Швидкість вітру	(0,2-0,3) м/сек
Важкість праці	Переміщення вантажів	До 1 кг
	Робоче положення	«Стоячи»
	Статичні та динамічні навантаження	176-232 Вт (151-200 ккал/год)
	Категорія робіт	II категорія

Продовження таблиці 5.4

Найменування чинника	Основні характеристики	Числове значення
Напруженість праці	Тривалість зосередженого спостереження	40% робочого часу
	Тривалість активних дій	50% робочого часу
	Змінність	1 зміна, 8 годин

5.4 Визначення та оцінка шкідливих і небезпечних виробничих чинників

Для забезпечення безпечної експлуатації та обслуговування релейного захисту до шафи релейного захисту обмежено доступ працівникам без необхідної групи електробезпеки.

Під час роботи з релейним захистом та автоматикою в закритому розподільчому пристрої потрібно використовувати:

- Індикатори наявності струму та напруги;
- Спеціальні електротехнічні інструменти з ізольованими ручками;

Перелік небезпечних і шкідливих чинників при роботі з РЗ наведено в табл. 5.5.

Таблиця 5.5 – Перелік небезпечних і шкідливих чинників при роботі з РЗ

Небезпечні і шкідливі чинники	Фактичне значення	Допустиме значення
Напруга	100 В	6 В
Струм	220 мА	0,6 мА

5.5 Вибір технічних та організаційних заходів з безпеки праці

Технічні і організаційні заходи, які передбачені для захисту персоналу наведено в табл. 5.6.

Таблиця 5.6 – Технічні та організаційні заходи

Вид заходу	Найменування заходу	Опис, показники і характеристики
Технічні заходи з електробезпеки		
Ізоляція	Ізоляція струмопровідних частин	Полівінілхлорид. Використовується для ізоляції струмопровідних частин пристроїв РЗ
Заземлення	Заземлюючий пристрій шафи РЗ	Приєднання затискачів заземлення в шафі РЗ до основного заземлюючого пристрою провідниками, що прокладені в підлозі.
Організаційні заходи з електробезпеки		
Наявність відповідної кваліфікації	Група кваліфікованих спеціалістів з трьох осіб, що проводять роботи по обслуговуванню пристрою РЗ	Для обслуговування ЕУ допускається група працівників з фірми виробника, група електробезпеки не нижче ІІІ.
Категорія робіт	Роботи без напруги	Поточна експлуатація
Розміщення заборонного знаку	Заборонний знак	Встановлюється на частинах ЕУ, що можуть бути під напругою

5.6 Вибір засобів індивідуального захисту для обмеження впливу небезпечних і шкідливих виробничих чинників

Обрані засоби індивідуального захисту наведені в таблиці 5.7.

Таблиця 5.7 - Засоби індивідуального захисту

Вид ЗІЗ	Призначення	Марка, модель, матеріал	Термін використання	Технічні характеристики
Захисний одяг	Костюм загально-виробничий	ЗС Маркет Карго, поліестр, бавовна	1 рік	Робочий, захисний
Захисне взуття	Захист від механічних ушкоджень ніг та від напруги	CALZA TURIFICIO 5BI MG40519-3B, натуральна шкіра	1 рік	Зовнішній шар з гуми подвійної щільності з високими діелектричними властивостями
Захист рукавички	Захист від механічних ушкоджень ніг та від напруги	Lahti PRO10 поліестер, нейлон	6 робочих змін	З протидією вислизанню, для роботи з електричним обладнанням
Захист голови	Захист від механічних ушкоджень та електричного впливу	Delta Plus, поліпропилен	2 роки	Для роботи з електро-обладнанням

Перелік електрозахисних засобів наведено в табл. 5.8

Таблиця 5.8 - Перелік електрозахисних засобів

ВИД ЕЗЗ	Найменування	Технічні характеристики	Призначення та норми випробувань
Електрозахисний ЗІЗ	Діелектричні рукавички	Роботи при напрузі до 1 кВ	Підключення ЕУ після ремонту Раз на 6 місяці
Електрозахисний ЗІЗ	Діелектричне взуття	Роботи при напрузі до 1 кВ	Підключення ЕУ після ремонту
	Діелектрична каска	Роботи при напрузі до 1 кВ	Підключення ЕУ після ремонту
Захисні пристосування	Попереджувальні знаки та плакати безпеки	Виконання робіт	Раз на 24 місяці

5.7 Вибір заходів із запобігання та ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій

Перелік заходів та засобів з пожежної та технічної безпеки наведено в таблиці 5.9.

Таблиця 5.9 – Перелік заходів з пожежної та технічної безпеки

Група заходів	Технічні характеристики	Критерії вибору
Технічні		
Запобіжники в ланцюгах підключення вводів	Струм спрацювання 0,1 А.	Захист від потрапляння на них напруги, яка перевищує допустимі значення.

Продовження таблиці 5.9

Група заходів	Технічні характеристики	Критерії вибору
Вимикач в ланцюгах живлення	Автоматичний, струм спрацювання 1 А.	Захист ЕУ від аварій в ланцюгах живлення.
Пожежний інвентар та вогнегасники	Пересувні вогнегасники, ящики з піском, совкові лопати.	Вогнегасники об'ємом 15 л. Пожежний інвентар – один на все приміщення.
Система автоматичного пожежогасіння	Автоматичне сповіщення та спрацювання	Автоматичне спрацювання. Заповнення речовиною для гасіння пожежі.
Блискавкозахист	Тросовий, на поверхні даху.	II категорія
Організаційні		
Інформаційні заходи з попередження пожеж і вибухів	Плани евакуації, дотримання протипожежних вимог, виконання правил безпеки	Відділ з охорони праці

5.8 Розрахунок заземлення шафи РЗА

Розрахунок на вимикаючу здатність передбачає розрахунок струму однофазного короткого замикання $I_{кз}$ і співставлення отриманої величини зі значенням номінального струму спрацьовування МСЗ. Розрахунок струму однофазного к.з. для кабельних мереж (КЛ) проводиться за формулою:

$$I_{кз} = \frac{U_{\phi}}{r_{\phi} + r_3 + \frac{r_{TP}}{3}}$$

Де

U_{ϕ} -фазна напруга, В

r_{ϕ} - активний опір фазного проводу, Ом

r_3 - активний опір захисного проводу, Ом

$r_{тр}$ - активний опір трансформатора, Ом

Формула для визначення фазної напруги:

$$U_{\phi} = U_L / \sqrt{3}$$

Активний опір фазного та нульового провідника визначають за формулою:

$$r = \sum_{i=1}^n (p_i \times l_i) / S_i$$

Де

p_i -питомий опір матеріалу проводів, для сталі - 0,1 (Ом·мм²)/м

l_i -довжина ділянки проводу одного матеріалу та одного перерізу, м

S_i -площа поперечного перерізу проводу, мм²

Активний опір трансформатора визначаємо за формулою:

$$r = (P_{кз} \times U_{НОМ}^2) / S_{НОМ}^2$$

Визначимо фазну напругу:

$$U_{\phi} = \frac{U_L}{\sqrt{3}} = \frac{100}{\sqrt{3}} = 57,735 \text{ В}$$

Визначимо активний опір фазного провідника:

$$r_{\phi} = \frac{(p \times l)}{S} = \frac{0,1 \times 150}{120} = 0,125 \text{ Ом}$$

Визначаємо активний опір нульового провідника:

$$r_3 = \frac{(p \times l)}{S} = \frac{0,1 \times 10}{50} = 0,02 \text{ Ом}$$

Визначимо активний опір трансформатора:

$$r_{тр} = \frac{(R_{кз} \times U_{НОМ}^2)}{S_{НОМ}^2} = \frac{8,25 \times 100^2}{300^2} = 0,917 \text{ Ом}$$

Визначимо струм к.з.:

$$I_{\text{кз}} = \frac{U_{\phi}}{r_{\phi} + r_3 + \frac{r_{\text{ТР}}}{3}} = \frac{57,735}{0,125 + 0,02 + \frac{0,917}{3}} = 128,11 \text{ A}$$

Визначимо напругу на корпусі електроустановки:

Без повторного заземлення захисного провідника напруга на корпусі $U_{\text{к}}$ ЕУ визначається за формулою:

$$U_{\text{к}} = I_{\text{кз}} \times Z_{\text{с}} \leq U_{\text{д}}(t_{\text{с}})$$

Де

$U_{\text{д}}(t_{\text{с}})$ -допустима напруга дотику

$Z_{\text{с}}$ -повний опір захисного проводу, для КЛ $Z_3 = r_3$

Визначимо напругу на корпусі ЕУ:

$$U_{\text{к}} = I_{\text{кз}} \times Z_{\text{с}} = 128,11 \times 0,02 = 2,562 \text{ В}$$

$$2,562 \text{ В} < 36 \text{ В}$$

Умова перевірки заземлення виконується.

Висновки

В розділі було розглянуто питання безпеки персоналу під час обслуговування релейного захисту на підстанції. Визначено умови праці та небезпечні фактори під час роботи. Та сформовано перелік заходів для забезпечення безпечних умов праці а також перелік заходів та засобів пожежної та технічної безпеки на об'єкті.

Після розрахунку заземлюючого пристрою шафи релейного захисту був зроблений висновок про його відповідність умовам ПУЕ.

ВИСНОВКИ

В магістерській дисертації було розроблено системи збору та передачі інформації на основі технології Node-RED. Та налаштовано підключення до пристрою релейного захисту ABB REF-615 з реалізацією збору, збереження та візуалізації режимних даних.

В першому розділі був проведений аналіз силового обладнання та релейного захисту підстанції 35/10 кВ. Отримано перелік автоматики та мікропроцесорних пристроїв релейного захисту з можливістю налаштування віддаленого збору інформації через мережу Ethernet.

На основі отриманої інформації був зроблений висновок про можливість збору інформації через мережу Ethernet з релейних пристроїв ABB-REF615 підстанції 35/10 кВ.

В другому розділі було розглянуто основи побудови систем збору та передачі інформації. Визначено основні вимоги до систем збору інформації.

Також було проаналізовано можливості пристрою релейного захисту ABB-REF615 та можливості технології Node-RED для збору інформації.

На основі отриманої інформації був зроблений висновок про те, що можливо організувати збір режимної інформації з підстанції 35/10 кВ за допомогою підключення до пристрою релейного захисту ABB-REF615 з використанням технології Node-RED.

В третьому розділі на основі інформації, яка була отримана в першому та другому розділах виконано налаштування підключення до пристрою релейного захисту ABB-REF615 по мережі Ethernet та організовано збір вимірювань фазних струмів та лінійної напруги з використанням Node-RED. Реалізовано вивід вимірювань на графіки.

Також було спроектовано базу даних вимірювань з використанням СУБД MS SQL Server та налаштовано збереження даних та відображення збережених даних за допомогою технології Node-RED.

Побудований програмний механізм збору та збереження режимних даних може бути застосований в будь-якій енергосистемі для підключення до пристроїв релейного захисту.

Додатково в магістерській дисертації було розроблено стартап-проект для виводу розробленої системи збору та передачі інформації на ринок. В стартап-проекті був проведений аналіз можливостей проекту, порівняння з продуктами конкурентів а також оцінено можливі ризики при виході на ринок.

В спеціальному розділі охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях були розглянуті питання електробезпеки персоналу підстанції 35/10 кВ при обслуговуванні релейного захисту та автоматики та перевірено правильність виконання заземлення шафи релейного захисту

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Справочник по проектированию электрических сетей / під ред. Д. Л. Файбисовича. – 4-те вид. , пероб. і доп. – М. ЭНАС, 2012. – 376 с.;
2. Правила улаштування електроустановок: [арх. 22 серпня 2015] / Міненерговугілля України. – 5-те вид., перероб. і доп. (станом на 22.08.2014) (чинне з 22.11.2014). – Харків: [б. в.], 2012. – 793 с.;
3. PowerFactory, «Руководство пользователя», DIgSILENT GmbH Gomaringen, Germany. Вересень 2011;
4. Національна енергетична компанія «Укренерго» [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://ua.energy>;
5. Ионкина П.А. Теоретические основы электротехники. – М.: Высшая школа, 1976, – 544 с.;
6. Документація до пристрою ABB REF615 [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://new.abb.com/medium-voltage/distribution-automation/numerical-relays/feeder-protection-and-control/relion-for-medium-voltage/feeder-protection-and-control-ref615-iec>;
7. Документація до пристрою ABB RET670 [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://new.abb.com/products/1MRK504139-UEN/technical-manual-ret670-ver-2-0-printed>;
8. Документація протоколу передачі даних Modbus [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://modbus.org>;
9. Опис платформи Node-RED [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://nodered.org>;
10. Інструкція по роботі з Node-RED [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://nodered.org/docs/tutorials/first-flow>;
11. Інструкція по роботі з пакетом вузлів node-red-contrib-modbus [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://flows.nodered.org/node/node-red-contrib-modbus>;

12. Інструкція по роботі з пакетом вузлів node-red-dashboard [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://flows.nodered.org/node/node-red-dashboard>;
13. Документація по .NET – Framework та C# [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://dotnet.microsoft.com>;
14. Міжнародний науково-технічний журнал молодих учених, аспірантів і студентів «Сучасні проблеми електроенерготехніки та автоматики»;
15. Методичні рекомендації до виконання розділу магістерських дисертацій для студентів інженерних спеціальностей / За заг. ред. О.А. Гавриша. – Київ : НТУУ «КПІ», 2016. – 28 с.;
16. Методичні рекомендації до виконання розділу «Охорона праці і безпека у надзвичайних ситуаціях» у дипломному проекті для студентів енергетичних спеціальностей за освітньо-кваліфікаційним рівнем «спеціаліст» / Укл.: Третьякова Л. Д. – К.: НТУУ «КПІ», ІЕЕ, 201. -52 с.;
17. Засоби індивідуального захисту: виготовлення та застосування / Третьякова Л. Д., Литвиненко Г. Є. – К.: Лібра, 2008. -317 с.;
18. ДБН В.2.5-56:2010: «Державні будівельні норми. Системи протипожежного захисту».

Додаток А

Запит для додавання типу пристрою:

```
insert into DEVICE_TYPE (NAME) values ('ABB-REF615')
```

Запит для додавання пристрою:

```
insert into DEVICE (NAME, DEVICE_TYPE_ID) values ('ABB-REF615-1', 1)
```

Запит для додавання типу вимірювань:

```
insert into MEASUREMENT_TYPE (NAME, UNIT) values ('Current (r.u.)', 'r.u.')
```

Запит для додавання значення виміру:

```
insert into MEASUREMENT
    (DEVICE_ID, MEASUREMENT_TYPE_ID, VALUE, DATETIME)
values
    (@deviceId, @measurementTypeId, @measurementValue,
    @dateTimeValue)
```

Для кожного виміру відібрати прилад, який його зробив:

```
select
    DEVICE.ID,
    DEVICE.DEVICE_TYPE_ID,
    MEASUREMENT.ID,
    MEASUREMENT.MEASUREMENT_TYPE_ID,
    MEASUREMENT.VALUE,
    MEASUREMENT.DATETIME
from DEVICE
    right join MEASUREMENT on MEASUREMENT.DEVICE_ID = DEVICE.ID
```

Запит для відбору вимірювань по всіх пристроях за вказану дату:

```
select
    DEVICE_TYPE.NAME as DEVICE_TYPE_NAME,
    DEVICE.NAME as DEVICE_NAME,
    MEASUREMENT_TYPE.NAME as MEASUREMENT_TYPE_NAME,
    MEASUREMENT_TYPE.UNIT,
    MEASUREMENT.VALUE,
    MEASUREMENT.DATETIME
from DEVICE_TYPE
    join DEVICE on DEVICE_TYPE.ID = DEVICE.DEVICE_TYPE_ID
    join MEASUREMENT on DEVICE.ID = MEASUREMENT.DEVICE_ID
    join MEASUREMENT_TYPE on MEASUREMENT_TYPE.ID =
    MEASUREMENT.MEASUREMENT_TYPE_ID
```

```
where  
    MEASUREMENT.DATETIME >= '20201208'
```

Запит для відбору вимірювань по всіх пристроях на поточну дату:

```
select  
    DEVICE_TYPE.NAME as DEVICE_TYPE_NAME,  
    DEVICE.NAME as DEVICE_NAME,  
    MEASUREMENT_TYPE.NAME as MEASUREMENT_TYPE_NAME,  
    MEASUREMENT_TYPE.UNIT,  
    MEASUREMENT.VALUE,  
    MEASUREMENT.DATETIME  
from DEVICE_TYPE  
    join DEVICE on DEVICE_TYPE.ID = DEVICE.DEVICE_TYPE_ID  
    join MEASUREMENT on DEVICE.ID = MEASUREMENT.DEVICE_ID  
    join MEASUREMENT_TYPE on MEASUREMENT_TYPE.ID =  
MEASUREMENT.MEASUREMENT_TYPE_ID  
where  
    MEASUREMENT.DATETIME >= GETDATE()
```

Запит для відбору середніх значень вимірювань по всіх пристроях на поточну дату:

```
select  
    max(DEVICE_TYPE.NAME) as DEVICE_TYPE_NAME,  
    max(DEVICE.NAME) as DEVICE_NAME,  
    max(MEASUREMENT_TYPE.NAME) as MEASUREMENT_TYPE_NAME,  
    max(MEASUREMENT_TYPE.UNIT),  
    avg(MEASUREMENT.VALUE)  
from DEVICE_TYPE  
    join DEVICE on DEVICE_TYPE.ID = DEVICE.DEVICE_TYPE_ID  
    join MEASUREMENT on DEVICE.ID = MEASUREMENT.DEVICE_ID  
    join MEASUREMENT_TYPE on MEASUREMENT_TYPE.ID =  
MEASUREMENT.MEASUREMENT_TYPE_ID  
where  
    MEASUREMENT.DATETIME >= GETDATE()  
group by DEVICE.ID, MEASUREMENT_TYPE.ID
```

Запит для відбору значень вимірювань, що не входять в заданий діапазон:

```
select  
    DEVICE.NAME as DEVICE_NAME,  
    MEASUREMENT_TYPE.NAME as MEASUREMENT_TYPE_NAME,  
    MEASUREMENT_TYPE.UNIT,  
    MEASUREMENT.VALUE,  
    MEASUREMENT.DATETIME  
from MEASUREMENT  
    join DEVICE on DEVICE.ID = MEASUREMENT.DEVICE_ID
```



```

        join MEASUREMENT_TYPE on MEASUREMENT_TYPE.ID =
MEASUREMENT.MEASUREMENT_TYPE_ID
where
    DEVICE.ID = 1 and MEASUREMENT.VALUE > 1.05 or MEASUREMENT.VALUE <
0.95

```

Процедура для виводу інформації про зареєстровані пристрої:

```

declare
    @DEVICE_TYPE_ID int,
    @NAME varchar(255)

declare CURSOR_DEVICE_TYPE cursor for
select
    ID,
    NAME
from
    DEVICE_TYPE

open CURSOR_DEVICE_TYPE

fetch next from CURSOR_DEVICE_TYPE
into
    @DEVICE_TYPE_ID,
    @NAME

while @@FETCH_STATUS = 0
begin

    print ' '
    print 'Device type name: ' + @NAME
    print 'Device type id: ' + str(@DEVICE_TYPE_ID)
    print ' '
    print 'Devvices:'

    declare
        @DEVICE_ID int,
        @DEVICE_NAME varchar(255)

    declare CURSOR_DEVICE cursor for
    select
        ID,
        NAME as DEVICE_NAME
    from
        DEVICE
    where
        DEVICE_TYPE_ID = @DEVICE_TYPE_ID

    open CURSOR_DEVICE
    fetch next from CURSOR_DEVICE
    into

```

```

        @DEVICE_ID,
        @DEVICE_NAME

if @@FETCH_STATUS <> 0
    print '                <<Devices not found>>'

while @@FETCH_STATUS = 0
begin

    print '                Device name: ' + @DEVICE_NAME
    print '                Device id: ' + str(@DEVICE_ID)
    print ' '

    fetch next from CURSOR_DEVICE
    into
        @DEVICE_ID,
        @DEVICE_NAME

end

close CURSOR_DEVICE
deallocate CURSOR_DEVICE

print ' '

fetch next from CURSOR_DEVICE_TYPE
into
    @DEVICE_TYPE_ID,
    @NAME

end

close CURSOR_DEVICE_TYPE

```